Ergonomie bei Handwerkzeugen

BEURTEILUNG VON KRAFTWERKZEUGEN

Atlas Copco

Ergonomie bei Handwerkzeugen

BEURTEILUNG VON KRAFTWERKZEUGEN

Danksagungen

Während der Recherche für dieses Buch stellte ich fest, dass es Lücken in den verfügbaren wissenschaftlichen Daten gibt. Die auf jahrelanger praktischer Erfahrung basierenden Anmerkungen meiner Kollegen haben mir sehr geholfen, diese Lücken zu schließen. Unter den Personen mit wissenschaftlichem Hintergrund möchte ich besonders Shihan Bao erwähnen. Shihan beendete seine Doktorarbeit mit dem Titel „Beanspruchung des Schulter-Hals-Bereiches bei Montagetätigkeiten und die Einflüsse der Rationalisierung" etwa zu der Zeit, als ich mit dem Schreiben dieses Buches begann. Er hat bei der Recherche über sein Fachgebiet geholfen. Herzlichen Dank ihm und meinen Kollegen für ihre Ermutigung und Unterstützung.

Bo Lindqvist

Autoren: Bo Lindqvist, Lars Skogsberg
Redaktioneller Berater: David Bennett
Titelseitengestaltung: Mikael Skoog
Illustrationen: Martin Gradén
Fotos: Jonas Brane, BLR-Fotograferna, Dennis Josefsson, Rolf Kukacka, Lars Lindgren, Björn Lundbladh, Lars Nybom, Jan Strömberg, Dag Sundberg, Kenneth Westerlund

Druck: Strokirk-Landströms 2008.
Eine Know-how-Publikation von Atlas Copco
ISBN: 978-91-633-2580-9

Preis: SEK 150, EUR 16, US$ 21.

Atlas-Copco-Drucksache
Nr. 9833 1162 04

Vorwort zur zweiten Auflage

Die erste Auflage dieses Buches war der letzte große Beitrag meines verstorbenen Kollegen und guten Freundes Bo Lindqvist zur Wissenschaft der Kraftwerkzeug-Ergonomie. Nur unter großem Vorbehalt habe ich die Aufgabe übernommen, dieses Buch zu aktualisieren. Die einzigartige Beurteilungsmethode, die er in der ersten Auflage präsentiert hat, wurde sehr gut angenommen und wird inzwischen von vielen großen Firmen weltweit angewandt. Ich befürchtete, dass ich bis zu einem gewissen Grad die Anerkennung bekommen würde, die eigentlich ihm gebührte.

Aber wie sich die Dinge entwickelt haben, glaube ich inzwischen, dass ich meinen Respekt für Bos Arbeit am besten zeigen kann, indem ich seine Arbeit fortführe und seine Methode weiterentwickle, basierend auf neuen Erkenntnissen, neuen Standardisierungen und der Erfahrung, die aus der Anwendung seiner Methode gewonnen wurde.

Ich habe in dieser zweiten Auflage nur so viel verändert, wie nötig war, um das Buch auf den aktuellen Stand zu bringen. Einige Grafiken für die Umrechnung evaluierter Parameter in Bewertungspunkte wurden angepasst. Basierend auf neuesten Studien von Atlas Copco, habe ich einen Abschnitt über die Belastungen des Handgelenks hinzugefügt. Die Abschnitte über Lärm und Vibrationen sind leicht überarbeitet worden, um der neuen Situation in Europa in Folge der entsprechenden neuen EU-Richtlinie Rechnung zu tragen. Auch die Beispiele am Ende wurden aktualisiert und basieren auf den modernsten, am Markt erhältlichen Werkzeugen.

Lars Skogsberg
Manager Produktergonomie

1. Der Arbeitsplatz

Gute Ergonomie ist gute Ökonomie	8
Organisation des Arbeitsablaufs	12
Montage im Sitzen	15
Montage im Stehen	21
Montage im Stehen an der Linie	27

2. Wesentliche Werkzeugarten

Schleifer	32
Bohrmaschinen	37
Schlagende Werkzeuge	41
Kleinschrauber	45
Schlag- und Impulsschrauber	49
Winkelschrauber	53
Hochmomentschrauber für die Nutzung mit Momentenstützen	58

3. Beurteilung von Kraftwerkzeugen

Einleitung	62
Griffkonstruktion	64
Äußere Belastung	73
Gewicht	88
Temperatur	92
Reaktionskräfte	97
Vibrationen	103
Lärm	116
Staub und Öl	125

4. Beurteilungsbeispiele

Schleifer GTG 40 F085	134
Bohrmaschine LBB 26 EPX-060	138
Meißelhammer RRF 31	142
Niethammer RRH 06	146
Kleinschrauber LUM 22 PR4	150
Impulsschrauber ErgoPuls EP9 PTX80-HR13	154
Elektroschrauber ETP ST32-05-10	158
Winkelschrauber LTV 29 R30-10	162
Elektro-Winkelschrauber Tensor ST61-50-10	166
Hochmomentschrauber LTP51	170

Wie Sie dieses Buch am besten nutzen

Wenn Sie – wie die meisten von uns – in Eile sind, schlagen Sie direkt Kapitel 4 auf, wo Sie Beispiele und jeweils ein Diagramm zu jeder Werkzeugart finden, die Sie interessiert. In jedem Diagramm wird ein bestimmtes Werkzeug unter Ergonomie-Aspekten beurteilt. So erhalten Sie einen Eindruck darüber, was Sie von ähnlichen Werkzeugen erwarten können.

Lassen Sie sich nicht von der Fülle an Informationen entmutigen – dieses Buch ist nicht dafür gedacht, in einem Rutsch von vorne bis hinten gelesen zu werden.

Gute Ergonomie ist zugleich gute Ökonomie

Das erste Kapitel beschreibt die Planung und den Betrieb einer Fertigungseinheit sowie typische Arbeitsumgebungen, in denen Kraftwerkzeuge eingesetzt werden.

Die wichtigsten Werkzeugarten

Im nächsten Kapitel finden Sie die Beschreibung wichtiger Werkzeuge einschließlich kurzer Anmerkungen zu den Ergonomiefaktoren, die auf den Werker einwirken.

Leitfaden zur Beurteilung

Anhand unserer Methode können Sie die Wirkung wesentlicher Ergonomiefaktoren auf den Werker während des Arbeitsprozesses einschätzen. Damit können Sie die ergonomischen Aspekte eines Werkzeugs systematisch beurteilen.

Der neueste Stand der Technik

Das letzte Kapitel stellt Beispiele einiger Werkzeuge vor, von denen wir glauben, dass sie die besten auf dem Markt sind. Sie stellen den derzeitigen Stand der Technik für die Konstruktion handgeführter Werkzeuge dar. Diese Werkzeuge werden anhand des Leitfadens beurteilt.

Vorwort

Der Autor, Bo Lindqvist.

Ergonomie bei Atlas Copco Tools

Der Ergonomie kommt schon bei der Werkzeugkonstruktion hohe Bedeutung zu – das wissen wir bei Atlas Copco seit Jahrzehnten. In den 1950er Jahren berücksichtigten wir zum ersten Mal ergonomische Faktoren bereits bei der Entwicklung einer Bohrmaschine. In der Entwurfsphase wurden immer wieder medizinische Experten konsultiert, um verschiedene Griffentwürfe zu bewerten. Das Ergebnis war eine Maschine, die auf dem Markt sehr schnell populär wurde.

Ende der 60er Jahre wurde Bo Lindqvist, der Autor der ersten Ausgabe dieses Buches, eingestellt, um eine Abteilung für Werkzeugergonomie aufzubauen.

Anfang der 70er Jahre begann die Labor-Forschung auf dem Gebiet von Lärm und Vibrationen. In der Mitte dieses Jahrzehnts stellte Atlas Copco einen rückstoßgedämpften Meißelhammer vor. Viele weitere schall- und vibrationsgedämpfte Werkzeuge folgten, und bis heute feilen wir an unserer Fähigkeit, noch bessere Werkzeuge zu konstruieren.

In den frühen 70er Jahren konstruierten wir ein Staubabsaugsystem für eine Kfz-Werkstatt. Bei diesem Projekt zeigte sich, dass es technisch möglich war, ein handgeführtes Werkzeug mit einem Staubfänger zu betreiben, ohne den Werker zu sehr bei der Arbeit zu behindern.

Darüber hinaus wurden etliche Ergonomiefaktoren untersucht, beispielsweise die von Winkelschraubern verursachten Reaktionskräfte. Um den Impuls, der die Maschine in der Hand bewegen will, möglichst niedrig zu halten, wurden die Schrauber mit besonders schnellen Kupplungen ausgestattet.

Arbeit an internationalen Normen

Ende der 70er Jahre wurde Bo Lindqvist Leiter der Arbeitsgruppe Pneurop 17 (Vibrationen) und später Vorsitzender des Komitees ISO/TC 118/SC 3/WG 3, einem internationalen Normenausschuss, der Normen zur Vibrationsmessung ausarbeiten sollte. Die Bemühungen führten zu einer Reihe von Normen mit der Bezeichnung ISO 8662. Ähnliche Anstrengungen erfolgten im Bereich Lärmmessungen.

Vorhergehende Auflage

1997 wurde die erste Auflage dieses Handbuches „Ergonomie bei Handwerkzeugen“ herausgegeben. Inzwischen wurden 40000 Exemplare verteilt.

Neue Möglichkeiten

Im Laufe der Jahre gab es beachtliche Entwicklungen in der Messtechnik und der Informationstechnik. Heute können wir Mehrkanal-Vibrationsmessungen durchführen, um eine Bewegung sichtbar zu machen. Oder wir können denselben Effekt in einer Simulation zu einem sehr frühen Zeitpunkt der Konstruktionsphase erzeugen.

Der Zweck dieses Buches

Ergonomie ist seit Jahren ein fester Punkt im Pflichtenheft unserer Werkzeugkonstrukteure, doch wird heute ein Gleichgewicht zwischen ergonomischen, technischen und ökonomischen Faktoren angestrebt. Das ist eine sehr anspruchsvolle Aufgabe. Gleichwohl befasst sich dieses Buch nur mit den ergonomischen Faktoren; für den Werkzeuganwender können allerdings andere Faktoren genauso wichtig sein.

Wir haben eine Beurteilungsmethode entwickelt und eine Reihe ergonomisch bedeutsamer Faktoren ausgewählt, nach der sich Werkzeuge vergleichen lassen. Ein nicht gerade leichtes Unterfangen, da zu einigen ergonomisch relevanten Faktoren kaum oder keine Daten aus Wissenschaft und Forschung vorliegen. Da wir es uns – in der Industrie – nicht leisten können, auf konkrete Daten zu warten, müssen wir häufig eine fundierte Vermutung anstellen und auf unsere Erfahrung vertrauen. Andernfalls wären wir sehr schnell vom Markt verschwunden.

Die Wahl eines handgeführten Kraftwerkzeugs beeinflusst nicht nur die Ausführung der gestellten Aufgabe, sondern ebenso die Arbeitssituation des Werkers und das Arbeitsumfeld. Ziel dieses Buches ist es, diese Wechselwirkungen zu veranschaulichen.

1 DER ARBEITSPLATZ

Gute Ergonomie **ist gute Ökonomie**

Es zahlt sich aus, Ergonomie-Experten schon bei der Planung von Arbeitsplätzen zu Rate zu ziehen, um diese von vornherein auf das Gros der Menschen abzustimmen, die hier einmal arbeiten werden. Das senkt auf Dauer auch die Kosten – vor allem jene, die durch arbeitsplatzbedingte, gesundheitliche Probleme bei den Werkern entstehen, sowie solche durch mangelhafte Produktqualität. Außerdem dürfte es dann seltener erforderlich werden, die Arbeitsplätze wieder umzugestalten.

Durch schlechte Ergonomie hervorgerufene Kosten

Antriebskraft für alle Ergonomen ist es, dass weniger Menschen arbeitsbedingt erkranken. Allerdings hängt die Finanzierung der benötigten Verbesserungen eines Arbeitsplatzes sehr stark von ökonomischen Faktoren ab, wie etwa der Amortisierungszeit und der möglichen, höheren Wertschöpfung.

Heutzutage werden die direkten und indirekten Kosten arbeitsbedingter Beschwerden immer häufiger diskutiert. Es ist sehr schwierig, von Unternehmen Zahlen zu diesem Thema zu bekommen. Teilweise liegt das daran, dass viele Unternehmen diese Berechnungen gar nicht angestellt haben. Und diejenigen, die es getan haben, geben diese Informationen nur ungern bekannt.

Einige allgemeine Zahlen lassen sich aber anführen. Große Unternehmen geben jährlich 10 bis 100 Millionen US-Dollar für arbeitsbedingte Beschwerden aus. Die Behandlung eines einzigen Falles von Karpaltunnelsyn-

Werden die Ergonomen bereits bei der Planung einer Produktionseinheit hinzugezogen, lassen sich Probleme frühzeitig vermeiden.

drom (Sehnenscheidenentzündung im Handgelenk) beträgt 10000 bis 30000 US-Dollar.

Das sind aber nur die direkten Kosten. Die indirekten Kosten, die durch arbeitsbedingte Beschwerden verursacht werden, entstehen hauptsächlich durch Produktivitätsverluste und Qualitätsprobleme. Genaue Zahlen gibt es nicht, doch scheinen die indirekten Kosten die direkten weit zu übertreffen. Wenn einmal das wirkliche Ausmaß der durch schlechte Ergonomie verursachten Kosten bekannt sein wird, ist es sicherlich viel einfacher, Geld für die Verbesserung von Arbeitsplätzen zu bekommen.

Ergonomie

Die Ergonomie ist eine junge Wissenschaft, in der die Kenntnisse aus Humanwissenschaften, Arbeitswissenschaften und Maschinenbau zusammenfließen. Nur wenige Ergonomen befassen sich mit dem gesamten Gebiet. Daher ist Teamarbeit gefragt, um den Gesamtwissensstand zu steigern. In einer Planungsphase können die Mitglieder eines Teams in ihrem Streben nach menschengerechten und praktischen Lösungen durchaus zu Ergonomen werden. Dem ausgebildeten Ergonomen kommt die Rolle eines Mentors zu. Er unterstützt das Team und versucht, Arbeitssituationen, die den Werker zu stark belasten, bereits im Vorfeld zu erkennen.

Einbeziehung des Werkers

Ein Werker, der in hohem Maße mit seiner Tätigkeit zufrieden ist, lässt sich motivieren, rationeller zu arbeiten und sich aktiver in die Produktionsstruktur einzufügen. Dadurch verbessern sich in der Regel Produktivität und Produktqualität. Die optimale Abstimmung zwischen Maschine, Arbeitsablauf und Werker ist von größter Bedeutung für die Arbeitsleistung und die Produktqualität.

Wenn ein Produktionssystem den Werker über längere Zeit physisch und psychisch überfordert, kann er gesundheitlich geschädigt werden. Die Verbesserung der Wechselwirkungen zwischen Werker und Umfeld steht daher in den meisten Industriezweigen ganz oben auf der Tagesordnung.

Um die Gesamtproduktivität zu steigern, müssen die Wechselwirkungen zwischen Werker und Arbeitsumfeld optimal gestaltet und ungesunde Wechselwirkungen eliminiert werden.

Das erfordert jedoch, dass Arbeitsabläufe, Maschinen, Arbeitsplätze und Produktionsverfahren ebenso wie die physischen und psychischen Fähigkeiten der Beschäftigten einschließlich der Wechselwirkungen all dieser Elemente gleichzeitig untersucht werden.

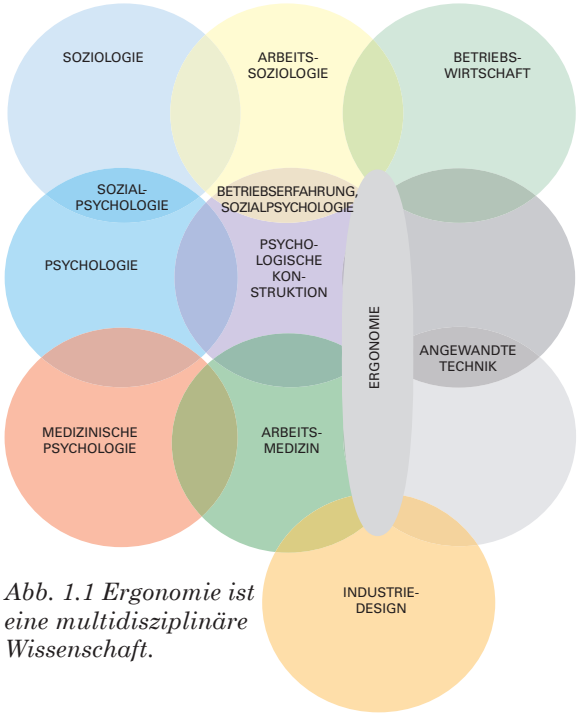


Abb. 1.1 Ergonomie ist eine multidisziplinäre Wissenschaft.

Anpassung des Arbeitsplatzes an den Werker

Jeder Arbeitsplatz ist einzigartig. Und weil Menschen verschieden sind, kann ein Arbeitsplatz ideal für einen Werker, für einen anderen aber eine Katastrophe sein. Das könnte erklären, warum es so häufig und unvermutet zu Problemen kommt, wenn eine neue Produktionseinheit in Betrieb genommen wird.

In der Vergangenheit hat man versucht, für jeden Werker ein Leistungsprofil zu erstellen und dieses mit einem Standard-Anforderungsprofil für die einzelnen Arbeitsplätze zu vergleichen. Diesen Versuchen war jedoch kein Erfolg beschieden, weil sich die Komplexität des menschlichen Körpers nicht über Kennwerte wohlgeordnet in ein Leistungsprofil zwängen lässt. Zudem ist der Arbeitsplatz nicht weniger kompliziert.

Das Ziel muss darin bestehen, Arbeitsplätze zu gestalten, an denen alle Beschäftigten bequem arbeiten können. Dies erfordert ein großes Maß an Anpassungsfähigkeit, das häufig kostspielig ist. Doch sind die Investitionen durch die höhere Flexibilität meist gerechtfertigt.

In den letzten Jahren beziehen immer mehr große Unternehmen Ergonomen in die Produktentwicklung ein. Entscheidungsträger erkennen, dass der kostengünstigste Weg, die Ergonomie in der Produktion zu verbessern, darin besteht, ein leicht herzustellendes Produkt zu entwickeln. Aus ergonomischer Sicht schlecht ausgelegte Arbeitsplätze verschwinden deswegen zunehmend.

Ergonomie bei Kraftwerkzeugen

Die Belastung eines Werkers hängt auch vom verwendeten Werkzeug ab. Für ein und denselben Schraubfall können – allein aus unserem Programm an Druckluft- und Elektroschraubern – gut ein Dutzend Versionen in Frage kommen.

Alle wurden für unterschiedliche Einsatzbereiche entwickelt. So greift die Kfz-Werkstatt gern zum Schlagschrauber, während der Automobilhersteller für sicherheitsrelevante Ver-

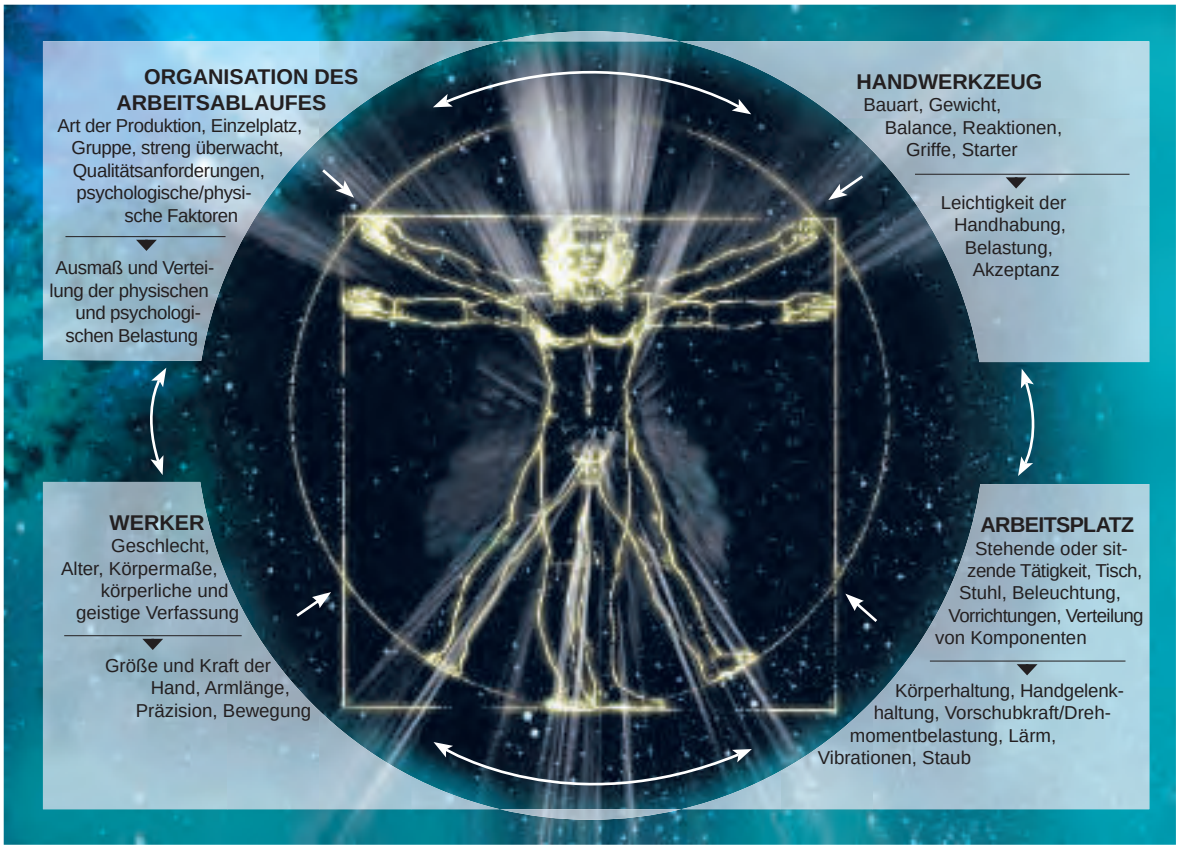

ORGANISATION DES ARBEITSABLAUFES
Art der Produktion, Einzelplatz, Gruppe, streng überwacht, Qualitätsanforderungen, psychologische/physische Faktoren
Ausmaß und Verteilung der physischen und psychologischen Belastung
HANDWERKZEUG
Bauart, Gewicht, Balance, Reaktionen, Griffe, Starter
Leichtigkeit der Handhabung, Belastung, Akzeptanz
WERKER
Geschlecht, Alter, Körpermaße, körperliche und geistige Verfassung
Größe und Kraft der Hand, Armlänge, Präzision, Bewegung
ARBEITSPLATZ
Stehende oder sitzende Tätigkeit, Tisch, Stuhl, Beleuchtung, Vorrichtungen, Verteilung von Komponenten
Körperhaltung, Handgelenkhaltung, Vorschubkraft/Drehmomentbelastung, Lärm, Vibrationen, Staub

Abb. 1.2 Der Arbeitsplatz ist eine komplexe Struktur. Alle Aspekte beeinflussen jedoch das Endergebnis.

bindungen einen rechnergesteuerten Elektroschrauber einsetzt.

Alle Werkzeuge unterscheiden sich in Form und Gewicht, Schwerpunkt, Lärm, Schmierung, Vibrationen und weiteren Ergonomie-Faktoren. Dennoch können alle eine Verbindung mit dem gleichen Drehmoment anziehen.

In der Praxis ist es unwahrscheinlich, dass Sie unter so vielen Modellen wählen müssen. Möglicherweise erscheint diese Frage daher akademischer Art. Gleichwohl lohnt es sich, diesen Aspekt im Auge zu behalten.

Die Auswahl des Werkzeuges ist ein wichtiger Parameter für die Gestaltung des Arbeitsplatzes; doch selbst das beste Werkzeug auf dem Markt kann aus einem schlecht gestalteten Arbeitsplatz keinen sicheren und bequemen Ort für den Werker machen.

Organisation des **Arbeitsablaufs**

Keine Fertigungsorganisation ist statisch. Wenn die Werker motiviert werden, sich selbst zu verbessern, steigert dies die Leistungsfähigkeit des Betriebes. Ein kontinuierlicher Prozess, bei dem Investitionen in Maschinen und Arbeitsplätze mit der Schulung der Werker Hand in Hand gehen, wird von den Beschäftigten als natürliche Entwicklung empfunden und ist Grundlage für ein hohes Maß an Zufriedenheit.

Montagearbeit sollte so abwechslungsreich wie möglich sein, um Bewegungen zu vermeiden, die sich zu häufig wiederholen.

Trends in der modernen Arbeitsorganisation

Um wettbewerbsfähig zu sein, muss ein Unternehmen heute auf die Wünsche seiner Kunden in Bezug auf Modelle und Produktpalette reagieren können. Dies hat zu einer Reihe neuer Fertigungsstrukturen geführt, die in modernen Betrieben genutzt werden.

Diesen Strukturen sind gewisse Merkmale gemein. So wurde beispielsweise vielerorts die alte Strategie der Lager- und Losgrößen-gebundenen Fertigung durch eine auftragsbezogene Fertigung abgelöst.

Die neuen Produktionsstrukturen haben in der Regel einen höheren Integrationsgrad als die alten, und zwar durch das Zusammenspiel verschiedener Abteilungen, wie etwa Konstruktion, Marketing und Produktion. Dadurch verbessert sich die Kommunikation innerhalb des Produktionssystems.

Ein weiteres Merkmal moderner Produktionsstrukturen ist ihre Flexibilität. Die Werker besitzen in der Regel mehr als nur eine Fertigkeit und können somit eine Reihe verschiedener Aufgaben innerhalb ihrer Gruppe ausführen. Die Schranken zwischen Werkern und Wartungspersonal auf der einen und Angestellten, Ingenieuren und Marketingpersonal auf der anderen Seite werden abgebaut. Es wird von allen

Modernere Produktionsmethoden stellen höhere Anforderungen an den individuellen Werker.

erwartet, dass sie Kontakte zu Kollegen aus anderen Bereichen herstellen.

Viele der neuen Fertigungsstrukturen ermuntern die Mitarbeiter zur Erweiterung ihrer persönlichen Fähigkeiten. Wenn Werker in das Produktionssystem eingebunden werden, verbessern sich oft Produktivität, Produktqualität und Arbeitsbedingungen.

Arbeitsbedingungen – ein wichtiger Faktor

Auch die Arbeitsbedingungen spielen eine wichtige Rolle bei der Verbesserung des Arbeitsablaufs. In modernen Betrieben werden die Aufgaben unter ergonomischen Gesichtspunkten besser zwischen Mensch und Maschine verteilt; die Werker werden von schwerer körperlicher Arbeit entlastet und führen abwechslungsreiche Tätigkeiten aus. Das hilft, Überbelastungen und Erkrankungen zu vermeiden, die sich aus monotonen, sich ständig wiederholenden Arbeitsschritten ergeben. Das steigert die Zufriedenheit am Arbeitsplatz beträchtlich.

Inzwischen sind auch die großen asiatischen Märkte rapide in den Wettbewerb eingestiegen. Der Druck hin zu geringeren Produktionskosten in Europa und den USA wächst. Viele Betriebe kehren leider von der

Lernen ist ein kontinuierlicher Prozess und ein Austausch von Ideen und Wissen.

Gruppenmontage zur Fließbandproduktion zurück. Für Ergonomen ist dies eine große Herausforderung. Wir wollen die Vorteile, die über die letzten Jahre in den neuen Produktionsumfeldern errungen wurden, unbedingt beibehalten.

Montage **im Sitzen**

Viele Arbeitsplätze sind für sitzende Tätigkeiten ausgelegt, speziell wenn mit hoher Präzision gearbeitet werden muss. Jedoch schränkt die Sitzposition die Reichweite des Werkers ein; mitunter muss er nach Bauteilen greifen, die er nur knapp erreicht. Wenn sich diese Bewegung ständig wiederholt, besteht die Gefahr der Schädigung des Schulter- und Halsbereiches. Arbeitsplätze für sitzende Tätigkeiten sollten so konzipiert sein, dass der Werker gelegentlich aufstehen und umhergehen muss. Der menschliche Körper ist nicht dafür geschaffen, über längere Zeiträume ein und dieselbe Haltung einzunehmen.

Der Werker sollte nicht nur auf eine Arbeitshaltung, wie etwa das Sitzen, beschränkt sein.

Ein sitzender Werker verfügt über eine stabile Position, kann seine Arme abstützen und Aufgaben ausführen, die Präzision erfordern. Er ist jedoch weniger beweglich

Statische Belastungen des Halses und der Schultern sollten, wenn möglich, vermieden werden. Die statische Belastung steigt mit dem Winkel zwischen Kopf und einer vertikalen Ebene.

und kann nicht so hohe Kräfte aufbringen. Wenn ergonomische Aspekte in die Gestaltung eines Arbeitsplatzes für sitzende Tätigkeiten einbezogen werden, müssen Arbeitshaltung und muskuloskeletale Belastung berücksichtigt werden. Dies gilt vornehmlich für die untere Rückenpartie, die Schultern und die oberen Extremitäten. Untersuchen Sie sorgfältig die Beziehungen zwischen Arbeitsplatz, Sitzmöglichkeit, Werkzeugen und auszuübenden Tätigkeiten (das heißt Produktgestaltung und Fertigungsmethode). Ziel ist, die Arbeitshaltung zu verbessern und die muskuloskeletale Belastung zu senken. Weitere Gestaltungskriterien sind die Reichweite und das Kraftvermögen des sitzenden Werkers.

Arbeitstisch und Stuhl

Nach den einschlägigen Ergonomieleitlinien ist das Arbeiten mit angehobenen Schultern oder ausgestreckten Armen über längere Zeit zu vermeiden. Der Oberkörper sollte eine aufrechte Haltung einnehmen, der Kopf aufrecht oder leicht nach vorn gebeugt sein. So lässt sich ein unerwünschtes Verdrehen unterbinden. Ebenso wichtig ist ausreichende Beinfreiheit. Weil Menschen unterschiedlich groß sind, bieten nur wenige Arbeitsplätze allen Werkern dieselben ergonomischen Bedingungen.

Ein wichtiges ergonomisches Merkmal eines Arbeitsplatzes für sitzende Tätigkeiten ist daher die Verstellbarkeit des Stuhles und/oder des Tisches. Der Arbeitsplatz ist so zu gestalten, dass ein Werker die Anpassung an seine eigene Statur schnell und problemlos vornehmen kann. Ferner sollten die Werker angehalten werden, ihren Arbeitsplatz an die jeweilige Tätigkeit anzupassen.

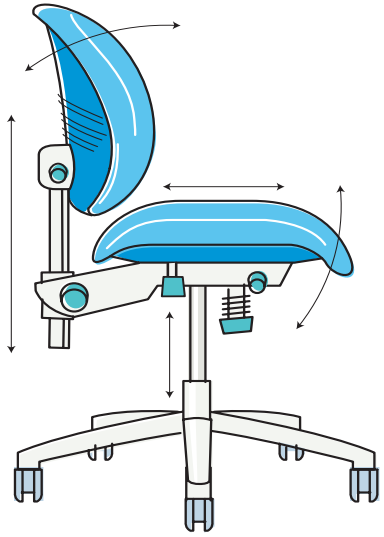


Abb. 1.3 Flexibilität ist ein Schlüsselfaktor.

Reichweite und Kraftvermögen

Wenn festgelegt wird, wo Teile oder Handwerkzeuge platziert werden, ist die jeweilige Reichweite zu berücksichtigen. Diese wird naturgemäß durch die individuellen Körpermaße begrenzt. In diesem Zusammenhang muss der Konstrukteur mit zwei Zonen vertraut sein: (1) den bequem zu erreichenden und (2) dem normalen Arbeitsbereich.

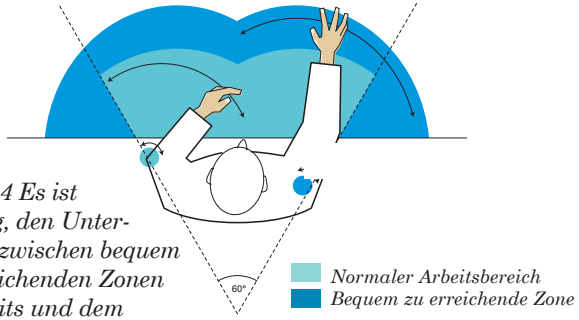


Abb. 1.4 Es ist wichtig, den Unterschied zwischen bequem zu erreichenden Zonen einerseits und dem normalen Arbeitsbereich andererseits, zu verstehen.

Eine bequem zu erreichende Zone ist die, in der ein Objekt bequem und ohne übermäßige Anstrengung erreicht werden kann. Diese Zone wird durch die Armlänge des Werkers bestimmt. Der Arbeitsplatz ist in der Regel so dimensioniert, dass 95 % aller Werker die erforderlichen Stellen ohne Strecken des Oberkörpers erreichen können.

Die Schnittmenge einer horizontalen Ebene, wie etwa eines Arbeitstisches, mit der bequem zu erreichenden Zone beschreibt das, was die Ingenieure für gewöhnlich als den maximalen Arbeitsbereich bezeichnen. Innerhalb dieses Bereichs liegt ein bedeutend kleinerer „normaler Arbeitsbereich“. Er ist mit einer bequem wischenden Bewegung der Arme um die Schulter bei einer Beugung des Ellenbogens um 90 Grad oder etwas weniger umrissen. Wenn der Ellenbogen um 90 Grad gebeugt ist und der Oberarm an der Schulter um seine eigene Achse gedreht wird, beträgt die bequem zu erreichende Grenze einer nach außen gerichteten Drehung nur etwa 30 Grad. Mit Hilfe dieses Faktors und der durchschnittlichen Armlänge des Werkers kann der „normale Arbeitsbereich“ ermittelt werden.

Arbeitshaltungen

Wenn der Arm im Arbeitsbereich hin und her bewegt wird, verändert sich die Länge der Armmuskeln. Von dieser Muskellänge aber hängt die mögliche Spannkraft ab. Extreme Armhaltungen sollten vermieden werden. Das ist bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Auswahl von Handwerkzeugen zu berücksichtigen, insbesondere wenn die Tätigkeiten eine gewisse Kraft erfordern.

Muskelgruppen

Verschiedene Muskeln können unterschiedlich viel Spannkraft erzeugen. Eine ergonomische Gestaltung des Arbeitsprozesses gestattet es dem Werker, eine höhere Kraft zu entwickeln. Wenn er etwa selbstschneidende Schrauben anziehen muss, ist eine hohe Vorschubkraft erforderlich; dafür ist zum Beispiel ein Werkzeug mit Pistolengriff einem mit geradem Griff überlegen. Denn die Muskelgruppen, die den Oberarm beugen, können eine höhere Spannkraft erzeugen als jene, die ihn strecken.

Werkstück und Werkzeugauswahl

Die Arbeitshaltung ist in hohem Maße vom zu bearbeitenden Werkstück abhängig. Zur Verbesserung der Haltung (geeignete Werkzeuge vorausgesetzt) sollte die Positionierung des Werkstücks und die Methode der Herstellung untersucht werden. Ist vielleicht eine Drehvorrichtung erforderlich, weil der Werker in verschiedenen Richtungen montieren muss? Wenn der Abstand zwischen der oberen und unteren Arbeitshöhe erheblich ist, empfiehlt sich eventuell ein höhenverstellbarer Montagetisch. Eine Arbeitsfläche, die geneigt werden kann, gestattet eine günstigere Kopfhaltung.

Belastungsmindernde Maßnahmen

In der Industrie ist die Verringerung der körperlichen Belastung oft keine leichte Aufgabe: Werkzeug und Produkt schränken die Möglichkeiten ein, auch ständig wiederholende Tätigkeiten belasten, sind aber oft nicht zu vermeiden. In diesem Fall muss die Belastung anderweitig reduziert werden – etwa mit Armstützen, Armschlingen oder Gewichtsausgleichern (Balancer).

Armstützen eignen sich für Montage- oder Instandsetzungsarbeiten, bei denen der Arm zwar vom Körper weg gehalten, aber nicht übermäßig bewegt werden muss. Die Höhe ist auf den Werker so abzustimmen, dass die Abstützung für Arme und Arbeit optimal ist. Armstützen müssen gut gepolstert sein, Bewegungen des Unterarms leicht ermöglichen und dürfen keine harten Kanten aufweisen. Sie sind im vorderen Bereich des Arbeitsplatzes zu positionieren, müssen sich aber auf die verschiedenen Tätigkeiten an dieser Station problemlos einstellen lassen. Sie müssen geneigt werden können, ohne dass eine manuelle Neueinstellung nötig ist. Auf einem Stuhl mit Armstützen wird immer dann eine entspannte Haltung erreicht, wenn die Stützen geringfügig unter die Höhe der Ellenbogen beim Sitzen eingestellt wer-

Die Wahl des Grifftyps kann sich negativ auf die Arbeitshaltung auswirken.

den. Zur Stabilisierung der Hände können bei komplexen Montagearbeiten zusätzlich Handgelenkstützen von Vorteil sein.

Die Armschlinge als Präventivmaßnahme

Wenn die Gefahr der längeren statischen Belastung der Schulterregion besteht und die Tätigkeit in einem größeren Radius ausgeführt wird, so dass keine Armstützen eingesetzt werden können, werden mitunter Armschlingen benutzt. Die Hebekraft einer Armschlinge ist individuell auf etwa 20 % des gesamten Armgewichts (etwa 5 % des Körpergewichts) einzustellen. Durch den Einsatz von Armschlingen darf die auszuführende Tätigkeit nicht gestört werden. Ist dies doch der Fall, sollten andere Möglichkeiten geprüft werden.

Wenngleich die Armschlinge für Werker mit muskuloskeletalen Symptomen eine Hilfe ist, sollte sie grundsätzlich als Präventivmaßnahme und nicht als Rehabilitationshilfe betracht werden.

Gewichtsausgleicher mindern Ermüdung

Das Gewicht eines Handwerkzeugs, besonders eines Kraftwerkzeugs, begrenzt die Zeit seiner ermüdungsfreien Handhabbarkeit und die Präzision der damit ausgeführten Arbeit. Grundsätzlich sollte jedes Werkzeug, das mehr als 2,5 kg wiegt und mit den

Armschlingen gleichen das Gewicht der Arme aus und reduzieren Spannungen im Schulter-Hals-Bereich.

Armen geführt und in einer unbequemen Haltung vom Körper weg gehalten werden muss, von einem Gewichtsausgleicher getragen werden.

Montage **im Stehen**

Im Stehen kann der Werker größere Kräfte ausüben und sich freier bewegen als im Sitzen. Verschiedene ergonomische Überlegungen können dazu beitragen, dass der Werker die stehende Arbeitshaltung zu seinem größten Nutzen einsetzt und die potenziellen Risiken des stehenden Arbeitens gering gehalten werden.

Um verschiedenen Werkern eine gute Arbeitshaltung zu ermöglichen, sollte sich die Höhe eines Arbeitsplatzes verändern lassen.

Ein Steh-Arbeitsplatz kann sinnvoll sein, wenn: (l) erhebliche Muskelkraft aufgewandt werden muss; (2) die Arme häufig nach oben, unten oder vorn geführt werden müssen; (3) eine nach unten gerichtete Kraft ausgeübt werden muss; (4) zum Sitzen keine ausreichende Kniefreiheit gegeben ist; (5) sich das Werkstück an einem zu hohen Ort befindet, als dass sowohl Oberarmhaltung als auch Kniefreiheit berücksichtigt werden können. Das Haupt-Ziel der ergonomischen Gestaltungsprinzipien ist für Steh- und Sitz-Arbeitsplätze identisch: die Vermeidung unnatürlicher Körperhaltungen.

Extreme Arbeitshaltungen

Es gibt Arbeiten, bei denen es unmöglich ist, eine akzeptable Arbeitshaltung zu erreichen. Viele Tätigkeiten am Bau erfordern beispielsweise das Arbeiten über Schulterhöhe. Hier ist es wichtig, die statische Belastung der Muskeln sowie die Dauer der einzelnen Tätigkeiten zu verringern. Die statische Belastung der Muskeln kann ver-

Extreme Arbeitshaltungen im wirklichen Leben.

ringert werden, indem das Gewicht der Werkzeuge reduziert und das Werkzeug nahe am Körper gehalten wird (um die mit den Armen ausgeübte Hebelkraft zu senken).

Die Dauer der einzelnen Arbeitsgänge kann verkürzt werden, indem zwischendurch Arbeiten ausgeführt werden, die andere Muskelgruppen beanspruchen. Hier sind ergonomische Kontrollen erforderlich, um das Risiko der statischen Muskelbelastung zu verringern.

Die Schulung der Arbeiter über die richtigen Arbeitsmethoden ist ebenfalls unerlässlich, um das Risiko muskuloskeletaler Schädigungen zu senken. Wenn Werker etwas vom Boden aufheben müssen, sollten sie ermutigt werden, aus den Knien heraus zu heben und nicht durch Beugen des Rückens.

Kraftanwendungen im Stehen

Im Stehen können mit Hilfe des Körpergewichts große Kräfte ausgeübt werden. Wenn das das Ziel ist, muss ein Steh-Arbeitsplatz diesen Körpereinsatz auch optimal ermöglichen. Bei Schleif- und Polierarbeiten sollte die zu bearbeitende Fläche beispielsweise horizontal liegen, etwas unter der Höhe der Ellenbogen. Erst recht, wenn die Tätigkeiten lange andauern. Andernfalls würde die verhältnismäßig schwache Armmuskulatur überbe-

Abb. 1.5 Die richtige Technik anwenden: Diese Abbildung zeigt zwei Situationen: (A) Aufheben eines Objektes vom Boden durch Beugen des Rückens – die falsche Technik; (B) Aufheben eines Objektes vom Boden durch Beugen der Knie – die richtige Technik, wenn Ihre Knie das aushalten!

ansprucht und die Arbeitsleistung gemindert. Für diesen Zweck eignen sich in der Höhe verstellbare Plattformen, da sie sich so einstellen lassen, dass der Werker maximale Kräfte aufbringen kann. Der Mechanismus muss eine schnelle und einfache Einstellung ermöglichen, sonst nutzt der Werker ihn nicht oder nur widerwillig.

In manchen Situationen kann die Arbeitsfläche nicht horizontal angeordnet werden. Für gewöhnlich ist dann eine Arbeitshöhe etwas oberhalb der Ellenbogen erforderlich, um eine akzeptable Haltung zu erreichen. Wenn hohe Vorschubkräfte horizontal aufzubringen sind, wie etwa beim Bohren oder bei spanabhebenden Arbeiten, sollte der Arbeiter sein Körpergewicht einsetzen, indem er sich leicht nach vorn beugt. Außerdem sollte eine ausreichende Standfläche vorhanden sein, damit eine stabile Position eingenommen werden kann, wenn die Kraft ausgeübt wird. Müssen hohe Vorschubkräfte ausgeübt werden (> 200 N), ist auch die Reibung zwischen Schuhen und

Bei modernen Produktionslinien kann über die Fördertechnik oder Hebeeinrichtungen oft die Arbeitshöhe angepasst werden, um den Montagewerkern eine gute Arbeitshaltung zu erlauben. Das ist besonders wichtig, wenn große Vorschubkräfte aufgebracht werden müssen.

Das Arbeiten mit hoher Vorschubkraft verlangt dem Werker ab, sich leicht nach vorne zu beugen, um sein Körpergewicht nutzen zu können.

Boden zu berücksichtigen, um ein Wegrutschen zu vermeiden. Bei einem ergonomisch durchdachten Arbeitsplatz ist die Gefahr des Ausrutschens oder Stolperns niedrig.

Die Arbeitsschuhe eines Werkers sollten in Abhängigkeit von der horizontal auszuübenden Kraft und der Oberfläche des Bodens ausgewählt werden. Besonderes Augenmerk ist auf die Schlüpfrigkeit des Bodens im trockenen Zustand zu richten – und im nassen Zustand, wenn Material verschüttet oder der Boden gereinigt wurde.

Durch rutschfeste Beläge, wie etwa mit Sand versetzte Farbe, kann die Gefahr des Ausrutschens oder Stolperns auf feuchten Böden erfolgreich reduziert werden. Allerdings kann durch die erhöhte Reibung das Gehen oder das manuelle Manövrieren eines Fahrzeuges erschwert werden.

Bequemeres Arbeiten im Stehen

Schuhe mit gut gepolsterten Einlagen und Sohlen, Teppiche oder Matten können beim Stehen den Komfort steigern. Längeres Arbeiten im Stehen hat einige Nachteile: die lange, statische Muskelanstrengung in den Füßen, Knien und Hüften, ferner den erhöhten hydrostatischen Druck des Blutes in den Beinvenen und die allgemeine Ein-

Bei modernen Montagelinien wird viel Aufwand betrieben, um sichere Lösungen für Aufgaben zu finden, die ansonsten den Montagewerker stark belasten und ihn oder sie auch noch in eine ungünstige Arbeitshaltung zwingen würden.

schränkung der lymphalen Zirkulation in den unteren Gliedmaßen.

Daher ist es wichtig, dass der oder die stehend Arbeitende die Möglichkeit hat, sich häufig hinzusetzen und die Beinmuskeln zu entspannen. Aus physiologischer und orthopädischer Sicht wird ein Arbeitsplatz, an dem der Werker wahlweise sitzen oder stehen kann, besonders empfohlen. Weil beim Stehen andere Muskeln als beim Sitzen beansprucht werden, wird durch einen Haltungswechsel das Risiko der statischen Belastung einzelner Muskelgruppen gemindert.

Der Wechsel zwischen stehender und sitzender Arbeitshaltung kann auch die Nährstoffzufuhr zu den Bandscheiben stimulieren, was der Gesundheit ebenfalls zuträglich ist. Von besonderer Bedeutung ist auch eine Arbeitsplatzgestaltung, die den Werker nicht an einer Stelle festnagelt, sondern ihm ermöglicht umherzugehen. Beim

Gehen verhalten sich die Beinmuskeln wie eine Pumpe, die den hydrostatischen Druck in den Venen ausgleicht, indem sie das Blut aktiv zum Herzen zurückfördert. Nützlich ist ferner eine Fußstütze, auf der der Werker seine Füße ausruhen kann – aber jeweils immer nur einen. Auf diese Weise wird der Druck in den Venen variiert und die Blutzirkulation in den Beinen verbessert.

Arbeitsbereiche bei einem Arbeitsplatz für stehende Montage

Auch im Stehen wird die Reichweite nach vorn durch die bequem erreichbaren Zonen und den „normalen Arbeitsbereich" bestimmt. Dennoch kann eine Tätigkeit auch in Bereichen außerhalb dieser Zonen nötig sein. Der Werker muss dann seinen Körper übermäßig neigen, strecken oder beugen. Jede dieser Haltungen kann schnell zur Ermüdung führen, wenn sie häufig oder länger als eine Minute lang eingenommen wird.

Wenn der ausgestreckte Arm horizontal angehoben wird und die Hand eine Last von nur 56 N (das entspricht 5,5 kg) hält, erzeugt das in der Schulter bereits ein Lastmoment, welches der maximal zulässigen Beugemuskelbeanspruchung entspricht, die im Schnitt für Frauen angegeben wird. Die Schulter eines durchschnittlichen Mannes sollte maximal 115 N halten. Wenn solche Situationen auftreten, sollte die Tätigkeit nur gelegentlich ausgeführt werden müssen, beispielsweise die Betätigung eines Schalters. Die körperliche Belastung eines Werkers durch Überschreitung seiner Reichweite wird durch einen ergonomischen Arbeitsplatze reduziert.

Wegen der großen Streuung der Körpermaße müssen Arbeitsplätze, die von vielen verschiedenen Arbeitern genutzt werden, einstellbar sein, und die Bediener dazu angehalten werden, den Arbeitsplatz an ihre Größe anzupassen.

Wir sind alle unterschiedlich!

Montage im Stehen **an der Linie**

Bei stehendem Arbeiten an einer Montagelinie muss der Werker viel gehen. Wenngleich dies im Grunde zu begrüßen ist, neigen Werker dazu, sich sozusagen nach vorne zu arbeiten. So haben sie mehr Zeit, Fehler zu beseitigen, ohne die anderen hinter ihnen zu beeinträchtigen. Das ist eine Stresssituation.

Organisation der Montagearbeit

Eine Montagelinie mit ergonomisch konstruierten Handwerkzeugen, bei der auf die Wechselwirkungen zwischen Werkzeugen, Arbeitsplätzen und Tätigkeiten geachtet wurde, verbessert die Arbeitshaltung und verringert die mechanische Belastung des Werkers. Ein Beispiel ist der Beschluss der Automobilindustrie, Tätigkeiten über Schulterhöhe zu vermeiden. Stattdessen wird die

Manchmal werden Werkzeuge auf eine Art eingesetzt, an die der Konstrukteur noch nicht einmal gedacht hat.

Karosserie angehoben oder geneigt oder das Werkzeug durch einen Gelenkarm gehalten.

Baugruppenmontage von oben

Alle Bauteile, die später unter das Chassis montiert werden, wie Antriebswelle, Auspuffanlage, Radaufhängung, Hydraulikleitungen und so weiter, werden zunächst in einer Haltevorrichtung von oben montiert.

Die Automobilindustrie betreibt einen hohen Aufwand, um Arbeiten zu vermeiden, die über Schulterhöhe ausgeführt werden müssten.

Baugruppenmontage per Haltevorrichtung aller Komponenten unter dem Fahrzeug.

Später wird dann die Bodenplatte zu diesen Bauteilen hinzugefügt und das Ganze mit Hilfe vieler Schrauber in der Haltevorrichtung verschraubt.

Eine solche Vorgehensweise ist grundsätzlich wichtig, wenn das Risiko muskuloskeletaler Störungen reduziert werden soll. Jedoch gibt es keine Garantie, dass dadurch das Risiko gänzlich ausgeschaltet wird. Die wissenschaftliche Forschung konnte nachweisen, dass sogar bei Werkern, die sehr geringen externen mechanischen Belastungen ausgesetzt sind (nicht mehr als etwa 1 % ihres maximalen Kraftvermögens), muskuloskeletale Störungen auftreten können, wenn diese Belastung kontinuierlich anhält oder über einen längeren Zeitraum immer wieder auftritt. Gelöst werden könnte dieses Problem, indem die Monotonie der externen Belastung durch wechselnde Belastungsmuster reduziert wird.

Bei der herkömmlichen Organisation von Montagelinien ist solche Abwechslung nicht immer ohne weiteres möglich. Denn in der traditionellen Montage sind einfache, sich wiederholende Tätigkeiten üblich. Die Werker sind daher monotonen Belastungen ausgesetzt. Hier ist es ratsam, ihnen häufi-

Das Team ist ein wichtiger Faktor in der Produktion.

ger Pausen zu verschaffen und andere Tätigkeiten zu ermöglichen, um die Muskeln zu entspannen.

Moderne Organisationsformen in der Montage bieten ein größeres Potenzial an Möglichkeiten, die physische Belastung des einzelnen Werkers zu variieren als das klassische Fließband. Der Markt verlangt flexible Produktionssysteme, welche die sich ändernden Anforderungen der Kunden erfüllen können. Produktionspläne richten sich allein nach den vorliegenden Bestellungen. Dies erfordert neue Montagekonzepte und hat in einigen Fabriken den Tätigkeitsbereich des einzelnen Werkers in den letzten Jahren ausgeweitet.

Diesen Werkern obliegt mehr Verantwortung für die Produktivität, die Produktqualität und den Arbeitsfluss. Ein Trend besteht darin, dass immer mehr Bauteile an anderen Orten montiert oder vom Zulieferer konstruiert werden. So sind entlang der Linie selbst weniger Arbeiten auszuführen, und es wird leichter, gute Arbeitsplätze einzurichten. Die Strukturen sind in der Regel derart, dass Werker angehalten werden, ihre Kenntnisse zu erweitern und verschiedene Tätigkeiten ausüben zu können. Geschieht dies, sinkt auch die physische Belastung.

2 WESENTLICHE WERKZEUGARTEN

Schleifer

Schleif- und Poliermaschinen unterscheiden sich vor allem hinsichtlich der Einsatzwerkzeuge. Die Dauerleistung dieser Werkzeuge reicht von 0,1 bis 4,5 kW, ihr Gewicht von wenigen hundert Gramm bis zu mehreren Kilogramm. Die hohe Werkzeugleistung ist ein Risikofaktor und erfordert die Schulung der Werker.

Bei der Arbeit mit Hochleistungs-Schleifmaschinen sollte der Werker über Risiken bezüglich Verletzungen, Lärm und Vibrationen Bescheid wissen.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Schleifmaschinen werden in erster Linie eingesetzt, um Material abzutragen. Das reicht vom Putzen von Gussstücken bis hin zum Präzisionsschleifen. Schleifmaschinen kommen in großtechnischen Anlagen wie einer Offshore-Bohrinsel zum Einsatz, aber auch in Karosseriewerkstätten bei der Instandsetzung beschädigter Autos. Mit ihnen kann auch der Rumpf eines Kunststoffbootes poliert oder die Oberfläche eines Holzmöbelstückes aufgearbeitet werden, so dass es Freude macht, diese zu nutzen.

Das Arbeitsumfeld

Werden Teile mechanisch bearbeitet, sind Schleif- und Poliermaschinen oft mit von der Partie. Die Vielzahl der Arbeitssituationen erschwert es vorherzusagen, in welcher Weise eine Schleifmaschine eingesetzt oder welchen körperlichen Belastungen der Werker ausgesetzt sein wird. Das Arbeitsumfeld kann ebenso variieren, von kleineren Polieraufgaben in einer sauberen Montagehalle bis hin zu lauten, schmutzigen Arbeitsplätzen für grobe Schrupp- und Trennarbeiten.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Bei der Konstruktion von Handgriffen und Startern sollte stets berücksichtigt werden, dass eine natürliche Handhaltung zugleich die bequemste ist. Lässt sie sich einfach variieren, verteilt sich die Belastung auf mehrere Muskeln, was einer Ermüdung vorbeugt.

Selbst wenn für eine Aufgabe nicht viel Muskelkraft benötigt wird, führt dies bei längerem Arbeiten schnell zu einer statischen, kraftraubenden Belastung. Die meisten Schleifmaschinen werden deswegen mit beiden Händen geführt, was diese gleichmäßiger belastet und für mehr Stabilität sorgt. Fast alle Schleif- und Poliermaschinen besitzen zudem einen Hebelstarter, den der Werker mit den Fingern oder mit der Handfläche herunterdrücken kann.

Sicherheit

Da die Leistung gängiger Kraftwerkzeuge bei bis zu 4,5 kW liegt, sind stets Risiken mit deren Einsatz verbunden. Gefürchtet ist vor allem das Zersplittern einer Schleifscheibe, was aber nur selten vorkommt. Ohne Schutzhaube an der Maschine könnten Splitter sogar eine Person in der näheren Umgebung töten. Daher ist eine ordnungsgemäß angebrachte Schutzhaube von großer Bedeutung.

Man könnte nun einfach fordern, Werkzeuge dieser Art immer mit fest installierten Schutzhauben auszustatten. Schleifmaschinen arbeiten jedoch mit Schrupp-, Trenn- und Topfscheiben sowie Bürsten und Fiberscheiben. Jede Anwendung – bis auf das Polieren – erfordert aber eine jeweils angepasste Schutzvorrichtung. Atlas Copco liefert seine Maschinen deshalb mit installierten Schutzhauben, die, wenn nötig, gegen einen anderen Schutzhauben-Typ ausgetauscht werden können.

Besonders wichtig ist: Der Werker muss in jedem Fall darauf achten, dass die auf der Maschine angegebene Drehzahl niemals höher sein darf als die auf der Schleifscheibe angegebene maximale Drehzahl oder die korrespondierende Umfangsgeschwindigkeit.

GRIFFKONSTRUKTION

Die Handgriffe von Schleifmaschinen sind in der Regel rund oder oval. Ihr Umfang liegt häufig unter 120 mm, es sei denn, der Griff ist ins Maschinengehäuse integriert. Länger als 130 oder kürzer als 100 mm ist der Handgriff bei keiner Maschine. Der Stützgriff besitzt am Ende häufig einen Wulst, damit sich das Werkzeug auf verschiedene Weise halten lässt. Ferner sollte er möglichst verstellbar sein, so dass sich der Winkel zwischen Stütz- und Startergriff variieren lässt. Dies erleichtert die Abstimmung auf den Werker und die auszuführende Aufgabe.

Eine viskoelastische Beschichtung des Handgriffs erhöht die Reibung zwischen Hand und Griff und verbessert dadurch die Handhabung. Sie sollte jedoch noch genügend Luft an die Hand lassen. Ein Hebelstarter mit Sicherheitsverriegelung verhindert das unbeabsichtigte Einschalten.

ÄUSSERE BELASTUNG

Beim Schleifen sollte der Werker keine großen Kräfte aufbringen und auch den Werkzeuggriff nicht besonders fest anpacken müssen. Das richtige Werkzeug sowie ein entsprechend gestalteter Arbeitsplatz sind aber sehr wichtig, da Schleifarbeiten meist lange dauern. Ermüdend wirkt normalerweise das Drehmoment, das durch die Reaktionskraft beim Einsatz der Maschine erzeugt und vom Werker über das Handgelenk aufgefangen werden muss.

Bei großen Schleifmaschinen für grobe Schrupp- und Trennarbeiten ergibt sich durch deren Gewicht zwar eine zusätzliche Vorschubkraft, doch belastet dies den Werker auch zusätzlich. Schleifmaschinen sind so konstruiert, dass ihr Starter leicht betätigt werden kann. Das gilt insbesondere für Hebelstarter.

GEWICHT

Das Maschinengewicht ist häufig ein positiver Faktor, insbesondere bei Schleifarbeiten an horizontalen Flächen. Arbeitshaltungen an senkrechten Flächen oder über Kopf sollten möglichst vermieden werden, auch wenn dies bei einigen Aufgaben – etwa dem Schleifen des Bodens eines Schiffsrumpfes – nicht zu verhindern ist.

Grundsätzlich sind Schleifmaschinen von Atlas Copco so gewichtssparend wie möglich konstruiert. Die dynamischen Kräfte, denen der Werker beim Schleifen ausgesetzt ist, sind ohnehin gering, da bei normalen Schleifbewegungen keine großen Beschleunigungskräfte entstehen.

TEMPERATUR

Bei Druckluftschleifern können kalte Griffe unangenehm sein, verursacht durch die Expansion der Druckluft im Motor. Die kalte Abluft sollte darum von den Griffen weggeleitet werden. Bei längeren Schleifarbeiten kann sich aber das ganze Gehäuse abkühlen – und damit auch die Griffe. Also müssen diese mit Isoliermaterial beschichtet sein. Der gegenteilige Effekt kann bei elektrischen Schleifern auftreten, da sich hier der Motor während des Betriebs aufheizt. Maschinen mit Winkelgetriebe haben ebenfalls die Tendenz, heiß zu werden.

REAKTIONSKRÄFTE

Beim Einschalten spürt der Anwender über die Griffe einer Schleifmaschine aufgrund ihrer Trägheit und der relativ langen Anlaufphase nur einen kleinen Ruck. Je nach Größe der Schleifscheibe benötigt eine pneumatische Schleifmaschine zur Beschleunigung auf die Schleifdrehzahl etwa eine halbe Sekunde. Dem Werker bleibt also genug Zeit, das sich dabei aufbauende Reaktionsmoment zu beherrschen. Anders verhält es sich bei großen Elektroschleifern mit Ein-Aus-Schalter. Hier muss der Werker auf plötzlich einsetzende Beschleunigungskräfte vorbereitet sein.

VIBRATIONEN

Wie stark der Griff einer Schleifmaschine vibriert, hängt in erster Linie vom Schleifmittel ab. Hauptquelle sind Unwuchten der Schleifscheibe, gegebenenfalls verstärkt durch eine mangelhafte Zentrierung. Normgemäß wird der Vibrationsnennwert einer Schleifmaschine mit Hilfe einer künstlichen Schleifscheibe mit definierter Unwucht meist an einem Punkt in der Mitte des Handgriffs bestimmt.

LÄRM

Hauptlärmquelle ist der Schleifvorgang selbst. Daneben erzeugt ein Druckluftschleifer Motorgeräusche, unabhängig davon, ob ein Lamellen- oder Turbinenmotor zum Einsatz kommt. Lamellenmotoren kennzeichnet ein typisches Geräusch, dessen Hauptfrequenz das Produkt aus Motordrehzahl und der Anzahl Lamellen ist. Turbinen erzeugen breitbandigere Luftstromgeräusche. Bei Elektroschleifern entstehen die Eigengeräusche durch die Getriebezahnräder und den Kühlluftstrom.

Der in der Bedienungsanleitung angegebene Nennwert für Lärm wird im Leerlauf der Maschine gemessen, da die Arbeitsgeräusche an jedem Einsatzort verschieden sind und sich somit nicht vorhersagen lassen.

STAUB UND ÖL

Obgleich eine Schleifmaschine selbst keinen Staub erzeugt, wirbelt ihre Abluft doch eine gewisse Menge auf – besonders in staubigen Umgebungen. Hauptstaubquelle ist aber der Schleifprozess selbst. Den Werker kann eine belüftete Schleifkabine schützen. Wirkungsvoller ist es jedoch, die Schleifmaschine selbst mit einer Staubauffangvorrichtung zu versehen und diese an ein Punktabsaugsystem anzuschließen.

Druckluftmaschinen mit Lamellenmotor müssen zudem in der Regel geschmiert

Handwerkzeuge sind vielseitiger als Schleifautomaten.

werden. Dazu wird Öl in den Lufteinlass gegeben. Dieses tritt bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten in Tropfenform aus, bei hohen dagegen fein zerstäubt zu einem Nebel aus Schwebeteilchen. Die Belastung des Werkers hängt wiederum von der Wirksamkeit des Entlüftungssystems am Arbeitsplatz ab. Eine Möglichkeit, sie zu verringern, ist ein so genannter Dosol-Öler. Dieser reduziert die Ölmenge auf ein Minimum. Turbinenschleifer arbeiten dagegen mit ungeschmierter Luft.

Bohrmaschinen

Die Bohrmaschine ist eines der ältesten Handwerkzeuge. In fast allen Industriezweigen erzeugt sie Löcher von unter 1 mm bis hin zu mehr als 50 mm Durchmesser. Die Arbeit mit ihr gilt als nicht besonders gesundheitsgefährdend.

Bohren gehört im Flugzeugbau zu den Standardaufgaben.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Bohrmaschinen werden in nahezu allen Bereichen eingesetzt, ihr Einsatzprofil hat sich aber im Laufe der Jahre verändert. Schiffe wurden früher warmvernietet. Mit enormem Kraftaufwand mussten die Werker dazu Tausende von Löchern in die Rumpfplatten bohren, oft mehr als 30 mm groß. Während Schiffe heute geschweißt werden, bohren die Flugzeugbauer Nietlöcher – allerdings nur mit Durchmessern von wenigen Millimetern, so dass die dafür erforderliche Muskelkraft akzeptabel ist.

Das Arbeitsumfeld

Bohrmaschinen belasten das Arbeitsumfeld nur gering, insbesondere kleinere Modelle. Große können dagegen laut sein. Eine Schmierung ist in der Regel nicht erforderlich.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Die Belastung des Werkers hängt von der Größe des zu bohrenden Loches ab. Je größer der Durchmesser, desto höher muss die Vorschubkraft und damit der Druck auf die Maschine sein. Gegebenenfalls sollte dann mit einem kleineren Bohrer vorgebohrt werden. Der Griff bestimmt zudem die Arbeitshaltung. Eine Bohrmaschine mit Pistolengriff überträgt die Vorschubkraft wirkungsvoller als eine mit Stab- oder Winkelgriff. Auch bei hoher Vorschubkraft ist darauf zu achten, dass das Handgelenk nur ein möglichst geringes Drehmoment aufnehmen muss.

Ein Stabgriff sollte nur bei einer geringen Vorschubkraft zum Einsatz kommen, wenn etwa Löcher vertikal zu bohren sind. Bei hoher Vorschubkraft ist ein Pistolengriff vorteilhafter, sofern der Werker sein Handgelenk dabei gerade halten kann. Gegebenenfalls ist eher die Position des Werkstücks entsprechend zu ändern. Vermieden werden sollte die Kombination aus gekrümmtem Handgelenk und hoher Vorschubkraft. Bei Platznot bietet sich der Winkelgriff an. Die nötige Vorschubkraft sollte jedoch möglichst mit beiden Händen gleichzeitig erzeugt werden. Da das Handgelenk nur begrenzt ein zur Elle gerichtetes Moment erzeugen kann, ist die einhändige Benutzung von Winkelbohrmaschinen zu vermeiden.

Sicherheit

Bohrmaschinen stellen an sich keine Gefahr dar. Dennoch kann sich der Werker schwer verletzen, wenn er etwa beim Einschalten seine Finger am Bohrer hat. Einige Maschinen verfügen deshalb über einen Bohrfutterschutz, jedoch lässt sich der Bohrer selbst nicht so leicht abdecken. Ein guter Bohrfutterschutz gestattet aber eine bequeme beidhändige Führung der Bohrmaschine.

Wird ein Werkstück durchbohrt, kann es insbesondere bei größeren Maschinen zu ruckartigen Belastungen kommen. Den Stoß muss der Werker mit dem Handgelenk auffangen. Kurz bevor die Bohrerspitze durchbricht, sollte der Andruck deshalb verringert werden. Ist im Bohrzyklus dafür keine Zeit vorgesehen, schneidet der Bohrer unsauber und kann sogar blockieren. Solche Probleme lassen sich mit Hilfe eines Stützgriffs vermeiden.

GRIFFKONSTRUKTION

Der Pistolengriff für Bohrmaschinen war der erste Handgriff, der exakt entsprechend der menschlichen Anatomie konstruiert wurde. Der Winkel zwischen Griff und Mittellinie der Maschine ist so gewählt, dass der Werker sein Handgelenk beim Bohren gerade halten kann. Da das vom Handgelenk aufzubringende Drehmoment möglichst gering sein sollte, muss der Griff so lang sein, dass die ganze Hand Platz findet. Der Griffdurchmesser ist ideal, wenn sich beim Umfassen Fingerspitzen und Daumenballen fast berühren.

ÄUSSERE BELASTUNG

Die Vorschubkraft sorgt für die größte Last. Zudem sind Maschinen für große Bohrdurchmesser mit einem Planetengetriebe ausgerüstet. Dadurch steigt jedoch das Gewicht und der Schwerpunkt wandert weg vom Handgelenk, das aufzubringende Drehmoment wächst. Für den Konstrukteur ergibt dies ein Dilemma. Damit das durch die Vorschubkraft bewirkte Drehmoment nicht zu groß ist, sollte der Werker den Griff möglichst weit oben umfassen – das spricht für den Pistolengriff. Gleichzeitig führt dessen Position am Ende der Maschine aber zu einer höheren Belastung durch das Gewicht.

GEWICHT

Wie bereits angesprochen, erzeugt das Werkzeuggewicht ein Moment, das aufs Handgelenk übertragen wird. Diese Belastung tritt immer dann auf, wenn die Maschine zum Werkstück hin oder von ihm fort bewegt wird. Abhilfe schafft ein Gewichtsausgleicher, der das Werkzeug hält. Ein Colibri-Gewichtsausgleicher macht die Maschine scheinbar schwerelos, so dass die Werkzeugmasse den Werker kaum mit dynamischen Kräften belastet.

TEMPERATUR

Die Abluft einer Bohrmaschine mit Lamellenmotor ist kalt. Wird sie von den Händen weggeführt, ist dies unproblematisch. Die tatsächliche Temperatur einer Druckluftbohrmaschine sinkt proportional zur aufgenommenen Leistung. Da sie meist nur kurz eingesetzt werden, spielt dies aber häufig keine Rolle. Dem Werker werden sie also nicht unangenehm.

REAKTIONSKRÄFTE

Drehmomentspitzen können auftreten, wenn etwa ein Bohrer ein Werkstück durchbricht. Ein Stützgriff bietet die beste Möglichkeit, dieses Problem zu meistern.

VIBRATIONEN

Beim Bohren treten kaum Vibrationen auf. Deshalb gibt es auch kein Prüfverfahren für Bohrmaschinen. Der Hersteller ist lediglich verpflichtet, zu prüfen, ob die Vibrationen beim Bohren unter 2,5 m/s^2 liegen und dies in der Bedienungsanleitung anzugeben. Ein verbogener Bohrer kann aber zu erheblichen Vibrationen führen.

LÄRM

Alle Bohrmaschinen sind mit einem Geräuschdämpfer ausgerüstet. Das Bohren selbst ist meist nicht besonders lärmintensiv. Daher entspricht der Geräuschpegel für den Werker dem Nenngeräuschpegel, gemessen gemäß der Definition der entsprechenden Arbeitssituation.

STAUB UND ÖL

Bohren ist ein schneidender Prozess, bei dem lange Späne entstehen. Diese werden normalerweise nicht aufgewirbelt. Allerdings können beim Bohren von Verbundwerkstoffen, wie Kohlefaser-verstärkten

Eine kleine, moderne Bohrmaschine lässt dem Werker die Wahl zwischen einer oberen und einer unteren Griffposition.

Kunststoffen, winzige Fasern in die Luft gelangen. Diese führen in elektronischen Anlagen zu Kurzschlüssen.

Abhilfe schafft eine Staubauffangvorrichtung an der Bohrmaschine, an die ein Punktabsaugsystem angeschlossen ist. Die meisten Maschinen kommen zudem mit ölfreier Druckluft aus.

Schlagende Werkzeuge

Mit der Energie eines beschleunigten Kolbens erzeugen schlagende Werkzeuge große Kräfte. So lässt sich Stahl spanend bearbeiten oder ein Niet eintreiben. Allerdings drohen gesundheitliche Schäden, verursacht durch Lärm und Vibrationen, die vermieden werden müssen.

Im Flugzeugbau verwendet man vibrationsgedämpfte Niethämmer und Gegenhalter.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Es gibt drei Arten von schlagenden Werkzeugen: Meißel-, Schlacken- und Niethämmer. Die ersten beiden kommen hauptsächlich in Gießereien zum Einsatz, Niethämmer vornehmlich in der Luftfahrtindustrie. Da schlagende Werkzeuge sehr leistungsfähig sind, nutzt man sie noch für eine Vielzahl weiterer Anwendungen: Vom Montagearbeiter, der damit Führungsbolzen in Motorblöcke einschlägt, bis hin zum Bildhauer, der seine Gesteinsblöcke bearbeitet.

Das Arbeitsumfeld

Ein typisches Problem schlagender Werkzeuge ist ihre starke Lärmentwicklung. Zwar können die Maschinengeräusche gedämpft werden. Doch die Hauptlärmquelle, der eigentliche Arbeitsprozess, lässt sich nur schwer eindämmen.

Die Vibrationswerte sind bei schlagenden Werkzeugen ebenfalls hoch, insbesondere an den Einsteckwerkzeugen. Eine Grundregel lautet deshalb, dass der Meißel

in einem Meißelhammer bei laufendem Werkzeug nicht berührt werden sollte.

Leicht gesagt, doch in der Praxis schwer zu befolgen. Manchmal hat der Meißel einen runden Schaft und muss deshalb mit der Hand geführt werden. Das macht Putzarbeiten flexibler, ist aber sicherheitstechnisch bedenklich.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Moderne Maschinen sind mit Schalldämpfern ausgerüstet. Bei leichten Putzarbeiten, wie dem Entfernen von eingebranntem Formsand, mindert dies den Lärm. In der Regel ist aber der Prozesslärm dominierend.

Vibrationen lassen sich dagegen mit größerem Erfolg bekämpfen. So können die Konstrukteure die Schwungkräfte reduzieren, die auf die Werkzeugmasse wirken, oder Werker und Werkzeug über ein Isoliersystem entkoppeln.

Bei Meißelhämmern, die hohe Vorschubkräfte erfordern, hat sich der Bogengriff bewährt, um das vom Handgelenk aufzunehmende Drehmoment zu reduzieren.
Die Kraft zur Betätigung des Starters wirkt dann in Richtung der Vorschubkraft, und der Starter lässt sich meist mit dem Daumen bedienen.

Da häufig über längere Zeit in derselben Körperhaltung gearbeitet wird, führt dies schnell zu einer Muskelüberlastung und Ermüdung des Hand-Arm-Systems.

Sicherheit und Schutzausrüstung

Das Tragen von Gehörschutz, Schutzbrillen und Arbeitshandschuhen wird dringend empfohlen. Die vibrationsdämpfenden Handschuhe, die derzeit entwickelt werden, sind aber noch unwirksam hinsichtlich der erzeugten niederfrequenten Schwingungen. Ein Schutzhelm sollte dagegen insbesondere in der Schwerindustrie obligatorisch sein. Werkzeughalter, insbesondere zusammen mit einem entlang des Meißels verschiebbaren Handgriff, verhindern, dass der Werker den Meißel berührt.

GRIFFKONSTRUKTION

Bei Meißelhämmern ist ein auch als D-Griff bezeichneter, offener oder geschlossener Bogengriff üblich. Er ist so konstruiert, dass damit über lange Zeit hohe Vorschubkräfte aufgebracht werden können und Vorschub- und Starterkräfte – über den Daumen aufgebracht – in dieselbe Richtung zeigen. Niet- und Schlackenhämmer besitzen häufig einen geraden oder einen Pistolengriff. Niethämmer sind dagegen für hohe Präzision ausgelegt, und im Prinzip für eine einzige Arbeitshaltung. Hier sind auch Einzelschläge ausführbar.

ÄUSSERE BELASTUNG

Bei Meißelarbeiten sind meist hohe Vorschubkräfte erforderlich. Die Arbeitshaltung und damit die Belastung ist eher statisch, insbesondere der Oberarmmuskeln. Ungedämpfte Werkzeuge haben hohe Vibrationswerte, die zu einer größeren Anspannung der Muskeln führen und den Prozentwert der „maximalen willkürlichen Kontraktion“ (MWK) erhöhen. Schlacken- und Niethämmer erfordern aber nur geringe oder mäßige Vorschubkräfte. Selbst wenn sie über längere Zeiträume eingesetzt werden, belasten Schlackenhämmer den Werker kaum. Niethämmer, die größere Vorschubkräfte erfordern, kommen in den meisten Fällen weniger als 20 Minuten pro Tag zum Einsatz. Dadurch ist die körperliche Gesamtbelastung ebenfalls gering.

GEWICHT

Das Gewicht ist häufig ein positiver Faktor, denn es hält die Vibrationswerte gering und hilft beim Aufbringen der Vorschubkraft. Da schlagende Werkzeuge nur langsam bewegt werden, wird der Werker nicht mit dynamischen Kräften belastet.

Schlackenhämmer findet man oft beim Schweißen.

TEMPERATUR

Schlagende Werkzeuge sind Volldruckmaschinen. Anders gesagt bedeutet das, dass sich die Druckluft in den Zylindern nur sehr geringfügig ausdehnt. Darum sinkt die Werkzeugtemperatur nicht so stark, dass es für den Werker unangenehm würde. Bei längeren Meißelhammer-Einsätzen werden eher die Meißel so heiß, dass man sie nicht mehr anfassen kann. Doch die sollte man ohnehin nicht berühren, wie bereits weiter oben erwähnt.

REAKTIONSKRÄFTE

Schlagende Werkzeuge erzeugen keine Reaktionsmomente.

VIBRATIONEN

Bei schlagenden Werkzeugen gibt es mindestens drei Vibrationsquellen: die oszillierende Kraft, die den Kolben antreibt; die Stoßwelle, die der Meißel auf die Maschine überträgt; und die Schwingungen des Werkstückes, die wiederum auf die Maschine zurückwirken. Wie sich diese Vibrationsquellen konstruktiv ausschalten lassen, beschreibt der Abschnitt „Vibrationen“ im Kapitel „Beurteilung von Kraftwerkzeugen“.

LÄRM

Das Grundprinzip schlagender Werkzeuge ist die Erzeugung einer Stoßwelle. Diese pflanzt sich entlang des Meißels oder Döppers fort und trifft mit so großer Kraft auf das Gussteil oder den Niet, dass es zu einer plastischen Verformung kommt. Die Stoßwelle dauert weniger als 100 µs. Dieser Prozess erzeugt sehr hohe Frequenzen. Treffen diese dann auf einen Körper, entstehen viele Resonanzen in einem breiten Frequenzbereich. Hohe Kräfte erzeugen hohe Lärmpegel.

STAUB UND ÖL

Beim Meißeln, Putzen und Entrosten kann viel Staub entstehen. Wie sehr das den Werker belastet, hängt in hohem Maße von der Art der Arbeit ab. Eine Staubauffangvorrichtung an einem Punktabsaugsystem sorgt hier für Abhilfe.

Da sich bei schlagenden Werkzeugen der Kolben in einem sehr glattwandigen Zylinder hin und her bewegt, ohne dass Wärme erzeugt wird, benötigen sie nur wenig Schmierung. Die ausgestoßene Luft enthält daher auch nur sehr wenig Öl.

Kleinschrauber

Für den Zusammenbau vieler Produkte – etwa Spülmaschinen, Kühlschränke oder elektronische Geräte – werden Kleinschrauber verwendet. Ein sauberes Arbeitsumfeld, die sorgfältige Wahl der Handwerkzeuge und ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze halten Gesundheitsrisiken für den Werker gering. Vorausgesetzt, der Arbeitsablauf ist so organisiert, dass häufige Wiederholungen vermieden werden.

Bei modernen Kleinschraubern mit Pistolengriff befindet sich der Lufteinlass auf der Oberseite, so dass sich die Installation an Balancern vereinfacht.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Produkte, die sich für Reparatur und Service leicht auseinanderbauen lassen müssen, werden mit Kleinschraubern montiert. Das reicht von wenigen Schrauben in der Massenproduktion von DVD-Spielern bis hin zur Montage eines kompletten Mixers. Da insbesondere Konsumgüter verhältnismäßig kurze Lebenszyklen besitzen, bietet jeder Produktwechsel auch die Chance, frühere Fehler bei der Arbeitsplatzgestaltung zu korrigieren.

Das Arbeitsumfeld

Moderne Produkte entstehen meist in einem sauberen Arbeitsumfeld mit angemessener Beleuchtung und guter Be- oder Entlüftung. Dennoch kann es auch hier zu Problemen kommen. Viele Werker, vorwiegend Frauen, leiden insbesondere im Bereich der oberen Gliedmaßen, des Halses und der Schultern an muskulo-skeletalen Erkrankungen (Verspannungen).

Obwohl es sich in der Montage nicht immer um körperlich anstrengende Arbeiten handelt, sind sie doch in vielen Fällen

wiederholungsintensiv. Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung besitzen deshalb einen hohen Stellenwert.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Für jemanden, der sich ständig wiederholende Arbeitsschritte ausführt, ist die richtige Arbeitshaltung besonders wichtig. In diesem Zusammenhang sind die Lage der Schraubverbindungen und die Auswahl des Schraubertyps zu berücksichtigen. Schraubwerkzeuge gibt es in Stab- oder Pistolenform. Am besten sind Arbeitshaltungen, bei denen das Handgelenk eine natürliche Position einnimmt.

Moderne stabförmige Werkzeuge haben Oberflächen, die die Reibung zwischen Werkzeug und Hand erhöhen, so dass sich der Schrauber ohne große Anstrengung halten lässt. Stabschrauber sind für gewöhnlich leicht und neigen dazu, sich beim Festziehen einer Schraubverbindung in der Hand zu drehen, so dass der Werker das Reaktionsmoment am Ende des Anziehzyklus mit dem Handgelenk auffangen muss. Die Stärke des Reaktionsmoments hängt von der Art der Schraubverbindung und der Funktionsweise des Werkzeugs ab. Harte Verbindungen und reaktionsschnelle, pneumatische Kupplungen lassen weniger Moment wirksam werden.

Elektrische Schraubwerkzeuge lassen sich dagegen so steuern, dass der Werker unabhängig von der Härte der Schraubverbindung fast immer dasselbe Reaktionsmoment aufbringen muss. So bleiben die Armmuskeln des Werkers entspannter. Viele Automobilhersteller lassen daher beim Einsatz elektrischer Schrauber höhere Drehmomente zu, bevor eine Drehmomentstütze benötigt wird, als bei pneumatischen.

Viele Schrauber haben einen Schubstarter, das heißt das Werkzeug läuft selbsttätig an, sobald die Schraubklinge auf die Schraube gedrückt wird. Unterschiedliche Schraubenköpfe erfordern jeweils einen anderen Kraftaufwand, um die Schraubklinge im Schraubenkopf zu halten. Daher sind auch die Schrauben sorgfältig auszuwählen, um eine übermäßige Belastung des Werkers zu vermeiden.

Sicherheit

In der Regel nehmen Schrauber nur eine geringe Leistung auf, stellen also nur ein geringes Risiko für den Werker dar. Anders bei pneumatischen Schraubern für hohe Drehmomente: Wenn hier die Kupplung nicht richtig eingestellt ist, spricht sie möglicherweise am Ende des Schraubvorgangs nicht an – und das Reaktionsmoment wirkt mit voller Wucht auf den Werker. Vor der Installation eines Werkzeugs muss deswegen zuerst dessen Kupplung geprüft werden.

Wichtig ist es auch, den Luftdruck entlang der Montagelinie zu überwachen. So lässt sich ein plötzlicher Druckabfall vermeiden. Tritt dieser beim Anziehen einer Schraube auf, spricht unter Umständen die Abschaltkupplung nicht an. Das zwingt den Werker, das Reaktionsmoment ohne vorherige Warnung abzufangen, wobei es zu einer Überbeanspruchung kommen kann.

GRIFFKONSTRUKTION

Die meisten Schrauber haben entweder einen Stab- oder einen Pistolengriff mit einer rauen Oberflächenstruktur. Diese verhindert beim Festziehen ein Drehen des Griffs in der Hand. Muss mit einem Stabschrauber ein hoher Andruck ausgeübt werden, empfiehlt sich zudem ein Griff mit Endanschlag. Für hohe Vorschubkräfte ist aber auf jeden Fall ein Pistolengriff besser geeignet. Wird ein Schrauber mit Pistolengriff mit der kompletten Hand umschlossen, kann der Werker generell höhere Drehmomente bewältigen als mit einem Stabschrauber.

Stabschrauber besitzen gewöhnlich einen Hebel- oder einen Schubstarter, umsteuerbare Maschinen häufig einen Daumenschalter. Bei Pistolenschraubern sind der fingerbetätigte Starter und eine mit dem Daumen zu betätigende Umsteuerung der Drehrichtung üblich.

ÄUSSERE BELASTUNG

Stabschrauber müssen sehr fest gehalten werden, um dem Reaktionsmoment entgegenzuwirken. Dieses Problem lässt sich mit einer Momentenstütze lösen. Selbstbohrende und selbstschneidende Schrauben erfordern zudem hohe Vorschubkräfte. Dies muss bei der Wiederholfrequenz berücksichtigt werden.

Schrauber in der Serienmontage werden meist im Sitzen eingesetzt. In dieser Position können die Hals- und Schultermuskeln leicht überlastet werden, insbesondere bei sich ständig wiederholenden Tätigkeiten.

GEWICHT

Schrauber sind verhältnismäßig leichte Werkzeuge. An einem typischen Montageplatz hängen sie zudem normalerweise an Gewichtsausgleichern (Balancern). Richtig eingestellt kann der Werker so den Schrauber ohne großen Kraftaufwand zu sich herunterziehen. Bei sich häufig wiederholenden Tätigkeiten erfährt der Werker durch das Gewicht des Werkzeuges eine zusätzliche äußere Belastung.

TEMPERATUR

Schrauber nehmen immer nur kurzzeitig Energie auf. Daher gibt es bei den meisten Anwendungen keine Probleme mit Kälte oder Hitze am Werkzeug.

REAKTIONSKRÄFTE

Der kurzzeitige Anstieg des Drehmoments beim Anziehen einer Schraubverbindung will den Schrauber rotieren lassen. Um diesen Impuls möglichst klein zu halten, sollte immer das schnellste Schraubwerkzeug gewählt werden, welches das erforderliche Drehmoment liefern kann. Außerdem hängt die Stärke dieser Bewegung von der Trägheit des Werkzeugs ab.

VIBRATIONEN

Es gibt zwei Arten von Schraubern: den Abschaltschrauber und den mit Rutschkupplung. Abschaltschrauber haben sehr kurze Einsatzzyklen. Der Anziehimpuls kann deshalb nicht als Vibration angesehen werden. Werkzeuge mit Rutschkupplung laufen dagegen weiter, bis der Werker den Schalter los lässt. Für gewöhnlich ist dies für ein paar Sekunden der Fall, obwohl sich der Werker damit selbst unnötigen Vibrationen aussetzt.

LÄRM

Schrauber dürfen nicht viel Lärm erzeugen, zumal die Werker bei Präzisionsarbeiten den Schrauber oft nah an ihrem Kopf führen. Schalldämpfer mindern den Lärm pneumatischer Schrauber, elektrische sind von vornherein relativ geräuscharm.

Elektrische Schrauber lassen sich so programmieren, dass sie das korrekte Drehmoment bei minimalem Reaktionsmoment erreichen.

STAUB UND ÖL

Beim Schrauben entsteht kein Staub, und Schrauber arbeiten mit ölfreier Druckluft.

Schlag- und **Impulsschrauber**

Eines der ersten handgehaltenen Kraftwerkzeuge zum Schrauben war der Schlagschrauber. Er war bis zu Beginn der siebziger Jahre in der Automobilindustrie weit verbreitet. Doch dann wurde er nach und nach durch den kupplungslosen Abwürgeschrauber ersetzt, ein weniger lautes und präziseres Werkzeug. In den achtziger Jahren kam dann der Impulsschrauber auf den Markt. Dieser überträgt ebenso wenig Reaktionsmoment auf die Hand wie ein Abwürgeschrauber, ist aber deutlich leiser und sehr viel genauer als ein Schlagschrauber. So gewinnt der Impulsschrauber immer mehr Marktanteile.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Schlagschrauber werden heutzutage meist im Kundendienst eingesetzt, etwa in Autowerkstätten. Der wichtigste Vorteil des

Mit den Abschalt-Impulsschraubern, die das Anzugsdrehmoment messen können, hat die Genauigkeit der Impulswerkzeuge deutlich zugenommen.

Schlagschraubers ist seine Fähigkeit, festsitzende rostige Schrauben lösen zu können. In alten Autos gibt es davon leider sehr viele.

Schlagschrauber werden heutzutage meist im Kundendienst eingesetzt, etwa in Autowerkstätten. Der wichtigste Vorteil des Schlagschraubers ist seine Fähigkeit, festsitzende rostige Schrauben lösen zu können. In alten Autos gibt es davon leider sehr viele.

Das Arbeitsumfeld

Schlag- und Impulsschrauber finden sich sowohl bei Ein-Mann-Reparaturjobs im Freien als auch in modernen Produktionshallen. Dabei tragen insbesondere Schlagschrauber erheblich zum Umgebungslärm bei. In Autoreparaturwerkstätten werden Schlagschrauber bei Arbeiten an der Fahrzeugunterseite häufig über Kopf eingesetzt. Der Schrauber muss dazu in verschiedenen Winkeln angesetzt werden. Wichtig ist, dass Werkzeugachse und Schraube eine Linie bilden. Andernfalls springt das Werkzeug bei jedem Schlag, und die dabei entstehenden niederfrequenten Vibrationen übertragen sich auf das gesamte Hand-Arm-System.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Arbeitet ein Werker mit gekrümmtem Handgelenk, kann der durch den Karpaltunnel verlaufende Nervus medianus geschädigt werden. Dadurch können Daumen und Zeigefinger taub werden.

Beim Schrauben sind in der Regel kaum Vorschubkräfte aufzubringen. Bei schwereren Schlagschraubern sitzt der Griff unter der Maschine, um die Belastung für das Handgelenk des Werkers möglichst gering zu halten. Diese Werkzeuge sind oft mit einer Aufhängevorrichtung versehen, die es dem Werker erlaubt, mit geneigter Maschine zu arbeiten. Das ermöglicht einen besseren Zugang zu den Verbindungsstellen und der Werker muss sein Handgelenk nicht verdrehen.

Sicherheit

Das Einsteckwerkzeug sollte stets mit der Abtriebsspindel verriegelt sein. Es könnte sonst aufgrund der hohen Leerlaufdrehzahlen wegfliegen und schwere Verletzungen verursachen.

Qualitativ hochwertige Einsteckwerkzeuge verhindern, dass Teilchen absplittern und zu Unfällen führen können.

GRIFFKONSTRUKTION

Der Griff eines Schlagschraubers ist ziemlich kompliziert aufgebaut. Er enthält Lufteinlass, Starter, Umsteuerung der Drehrichtung sowie den Luftauslass mit integriertem Schalldämpfer. Wird die Größe des Griffs verringert, bleibt auch weniger Platz für die Schalldämpfung, und der Lärmpegel steigt.

ÄUSSERE BELASTUNG

Die Reaktionskräfte beim schlagenden und pulsierenden Schrauben sind gering, gleiches gilt für Rotationsmomente während des Anziehens. Durch den Abstand zwischen Schwerpunkt und Handgelenk kann ein Biegemoment auf das Handgelenk wirken, wenn der Schrauber vertikal eingesetzt wird. Kommt eine Neigung des Werkzeugs hinzu, tritt ein kombiniertes Biege- und Drehmoment auf. Dann ist eine Aufhängevorrichtung zu empfehlen.

GEWICHT

Bei Schlag- und Impulsschraubern ist das Werkzeuggewicht entscheidend für die körperliche Belastung des Werkers, insbesondere wenn die Maschine nicht aufgehängt ist. Andererseits gibt es derzeit auf dem Markt kein anderes Schraubwerkzeug mit einer höheren Leistungsdichte. Das Gewicht kann zu einer statischen Belastung des Werkers führen und ihn bei wiederholungsintensiven Tätigkeiten durch die Bewegung des Werkzeugs erheblich strapazieren.

TEMPERATUR

Hitze oder Kälte sind beim Arbeiten mit diesen Schraubern kein Problem, da sie immer nur kurzzeitig laufen. Bei wiederholungsintensiven Arbeiten mit Impulsschraubern kann sich das vordere Werkzeugende mit dem Pulsmechanismus erwärmen, ohne dass dies aber den Werker stört.

REAKTIONSKRÄFTE

Schlag- und Impulsschrauber erzeugen keine spürbare Belastung der Hand durch Reaktionsmomente.

VIBRATIONEN

Insbesondere bei modernen Schlagmechanismen sind Schwingungskräfte, die Vibrationen im Maschinengehäuse verursachen können, gering. Der Motor selbst beschleunigt bei jedem Schlag von null Umdrehungen auf Höchstdrehzahl.

Das erzeugt ein oszillierendes Reaktionsmoment im Maschinengehäuse, das dadurch vibriert. Die Stärke dieser Vibrationen hängt von der Trägheit der Maschine und der Schlagdauer ab. Am Ende eines jeden Schlages überträgt der Motor das größte Drehmoment auf das Maschinengehäuse. Aus Sicht der Vibrationsbelastung sind die modernen Abschaltschrauber zu bevorzugen. Deren Anzugszeit ist auf ein Minimum reduziert, was auch die Vibrationsbelastung des Werkers minimiert.

Durch ihr geringes Reaktionsmoment eignen sich Impuls-Stabschrauber ohne Momentenstütze für Anzugsmomente bis 50 Nm.

LÄRM

Der integrierte Schalldämpfer ist am effektivsten im Leerlauf und beim Voranzug bis zur Kopfauflage. Denn dann ist der Luftstrom durch den Schalldämpfer am größten. Beim anschließenden Festziehen ist der Prozesslärm lauter als die Geräusche vom Werkzeug selbst. Impulsschrauber arbeiten wesentlich leiser als Schlagschrauber.

STAUB UND ÖL

Bei der Arbeit mit diesen Schraubern entsteht nur selten Staub. Die meisten Maschinen benötigen keine Schmierung.

Winkelschrauber

An Montagelinien, wo immer wieder die gleichen Schraubverbindungen anzuziehen sind, werden Winkelschrauber eingesetzt, sowohl mit Druckluft- als auch Elektroantrieb. Sie sind vorzugsweise mit beiden Händen zu führen, um ein übermäßiges Verdrehen eines Handgelenks zu vermeiden. Winkelschrauber ziehen präzise und leise an.

Wo werden die Werkzeuge eingesetzt?

Die in den siebziger Jahren entwickelten Winkelschrauber ersetzten in vielen Montagewerken den Schlagschrauber. Sie schrauben viel präziser und leiser. Beim kupplungslosen Abwürgeschrauber entstehen zudem keine Prozessgeräusche. Die ersten Winkelschrauber, die in der Automobilindustrie installiert wurden, schalteten am Ende des Anziehprozesses mit einem heftigen Ruck ab. Der Werker musste dabei am Griff gegenhalten – mit einer Kraft entsprechend dem Nennmoment dividiert durch die Werkzeuglänge. Insbesondere an schlecht zugänglichen Stellen konnte das lästig sein. Winkelschrauber werden üblicherweise mit zwei Händen geführt. Der Schwerpunkt liegt etwa in der Mitte des Werkzeugs. Arbeitet ein Werker nur mit einer Hand, wirkt auf das Handgelenk ein besonders hohes Drehmoment.

Winkelschrauber sind in Fertigungslinien weit verbreitet.

Das Arbeitsumfeld

Ein typisches Automobilwerk der siebziger Jahre war ein lauter Arbeitsplatz. Fließbänder, Hydraulikpumpen und andere Maschinen erzeugten einen allgemeinen Lärmpegel von etwa 85 dB(A). Es gab keinerlei Maßnahmen zur Schallbegrenzung an den Arbeitsplätzen. Glücklicherweise wurden Handwerkzeuge und andere Einrichtungen über die Jahre kontinuierlich leiser, der Geräuschpegel liegt heute häufig um die 80 dB(A). Handwerkzeuge, die nur intermittierend eingesetzt werden, erhöhen diesen Wert kaum. Hinzu kam in letzter Zeit jedoch eine neue Lärmquelle (je nach Zuhörer auch Klangquelle): Radios.

Die Fertigung in den Montagelinien wird mit den Produkten komplexer. Höhere Qualitätsansprüche erfordern Investitionen in technisch immer ausgefeiltere Maschinen. Da neue Anlagen auch vom ergonomischen Standpunkt aus besser sind, optimiert dies allmählich das Arbeitsumfeld.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Am wichtigsten ist das Reaktionsmoment, das beim Anziehen einer Schraubverbindung auf den Winkelschrauber wirkt. Es versucht, das Werkzeug zu drehen, was zu einem heftigen Ruck am Griff führt. Versuche, dieses Problem konstruktionstechnisch zu lösen, basieren bei Druckluft- und Elektroschraubern auf unterschiedlichen Ansätzen.

Für Druckluft-Winkelschrauber wurde eine sehr schnelle Kupplung entwickelt. Sie reduziert die Stoßbelastung und somit die ruckartige Bewegung auf ein Minimum. Bei Elektro-Winkelschraubern lässt sich die Drehzahl problemlos elektronisch regeln. Sie kann daher während des Schraubvorgangs programmgesteuert so erhöht oder verringert werden, dass der Werker keinen Ruck empfindet.

Sicherheit

Beim Arbeiten mit Winkelschraubern können Finger gequetscht oder sogar abgetrennt werden. Bei Drehmomenten von mehr als 60 Nm ist daher eine Momentenstütze zu empfehlen. Damit steigt aber das Werkzeuggewicht, so dass ihr Einsatz auch von der Lage der Schraubverbindung abhängt.

Muss der Werker das mit Stütze schwerere Werkzeug in einer mehr als unbequemen Haltung abstützen, wird er die Momentenstütze vermutlich ablehnen. Pneumatische Hochmoment-Winkelschrauber sind mit einem Druckventil ausgerüstet, das die Luftversorgung des Werkzeugs unterbricht, sobald der Druck unter einen voreingestellten Wert fällt.

Damit ist sichergestellt, dass der Motor immer genügend Kraft zur Betätigung der Kupplung hat und ein unerwarteter Ruck am Griff vermieden wird.

GRIFFKONSTRUKTION

Der Startergriff eines Winkelschraubers ist gewöhnlich rund, misst 38 mm im Durchmesser und ist 100 mm lang.

Pneumatische Winkelschrauber haben einen Hebelstarter, elektrische einen kleinen Schalter, der mit einem oder zwei Fingern bedient werden kann.

ÄUSSERE BELASTUNG

Beim Arbeiten mit Winkelschraubern ist der Werker im Wesentlichen zwei Belastungen ausgesetzt: zum einen dem auf den Griff übertragenen Reaktionsmoment, zum anderen dem Gewicht der Maschine. Beide wirken auf die Handgelenke. (Zum Reaktionsmoment siehe „Reaktionskräfte“ weiter unten.)

Wegen der schlanken, länglichen Form des Werkzeugs liegt der Schwerpunkt etwa in der Mitte der Längsachse. Führt ein Werker einen Winkelschrauber nur mit einer Hand, ist dieses eine Handgelenk einem hohen Verdreh- oder Biegemoment ausgesetzt. Das lässt sich durch beidhändige Werkzeugführung vermeiden. Herkömmliche Schrauber mit Drehmomenten über 20 Nm belasten Frauen mit mehr als 30 % der maximalen willkürlichen Kontraktion (MWK) des Handgelenks, wenn sie mit einer Hand hochgehoben werden. Modernere Werkzeuge sind leichter und ihr Schwerpunkt liegt näher am Griff. Deswegen können selbst Winkelschrauber mit Drehmomenten bis zu 40 Nm von einer Frau mit einer Hand gehoben werden, bevor ihr Handgelenk mit 30 % der MWK belastet wird.

Das Anziehen sollte möglichst im Zwei-Hand-Griff erfolgen: mit einer Hand am Griff und der zweiten Hand so nahe wie möglich am Winkelkopf. Doch muss der Werker häufig mit einer Hand noch eine Schraube eindrehen oder eine Mutter auflegen. Wird ein Winkelschrauber nur mit einer Hand geführt, verringert sich die Fähigkeit des Werkers sehr stark, das Drehmoment auszugleichen. Ist zusätzlich eine Verlängerung zwischen Gerät und Einsteckwerkzeug im Einsatz, sollte derselbe Wert für die mögliche Momentenaufnahme wie bei Werkzeugen mit Pistolengriff verwendet werden.

GEWICHT

Die äußere Belastung der Handgelenke kann sich durch die Handhabung oder Bewegung des Schraubers je nach Gewicht noch erhöhen. Daher sind wiederholungsintensive Arbeitszyklen unbedingt zu vermeiden.

TEMPERATUR

Bei Druckluft-Winkelschraubern ist zu starke Abkühlung kein Thema, denn diese Maschinen laufen in der Regel immer nur kurzzeitig.

Früher gab es dagegen beim intensiven Einsatz elektrischer Winkelschrauber Probleme mit zu hohen Temperaturen. Moderne Hochleistungsmotoren brachten hier Abhilfe.

REAKTIONSKRÄFTE

Der Begriff „Ruck“ (Reaktionsmoment) beschreibt, was mit dem Schrauber und den Händen geschieht, die beim Festziehen einer Schraubverbindung den Griff halten. Der Werker empfindet die Bewegung des Griffs nur dann als Ruck, wenn sie nicht länger als 300 ms dauert. Hält die Bewegung länger an, hat der Werker ausreichend Zeit, gegen den Griff zu drücken und so dem Reaktionsmoment entgegenzuwirken. Auf diese Weise erfährt er keine Ruckbelastung.

Die Stärke dieses Rucks oder Stoßes hängt von der Härte der Schraubverbindung ab und von der Spindeldrehzahl. Das Drehmoment als Funktion über der Zeit erzeugt den Impuls, der den Schrauber beschleunigt beziehungsweise in Drehbewegung versetzt – je kürzer der Impuls, desto schwächer der resultierende Ruck im Handgriff. Bei harten Schraubverbindungen und reaktionsschnellen Kupplungen braucht der Werker am Startergriff nur eine geringe Gegenkraft auszuüben. Die Trägheit der Maschine fängt dann die Ruckbelastung auf.

VIBRATIONEN

Der Nennvibrationspegel bei Winkelschraubern liegt unter 2,5 m/s^2.

LÄRM

Der Nenngeräuschpegel liegt für elektrische Werkzeuge unter 70 dB(A) und für pneumatische Modelle unter 80 dB(A). Winkelschrauber erzeugen keinen Prozesslärm und erhöhen den allgemeinen Geräuschpegel am Arbeitsplatz nur unwesentlich, da sie immer nur kurz arbeiten. Elektro-Winkelschrauber wurden sogar schon als zu leise kritisiert. Denn manchmal erhält der Werker kein ausreichendes akustisches Signal, um den Fortschritt des Anzugszyklus beurteilen zu können.

STAUB UND ÖL

Diese Faktoren spielen weder bei pneumatischen noch bei elektrischen Winkelschraubern eine Rolle.

Moderne Winkelschrauber werden zunehmend im Flugzeugbau eingesetzt.

Hochmomentschrauber für die Nutzung mit Momentenstützen

Um das beim Anziehen einer Verbindung auftretende Reaktionsmoment aufzufangen, benötigen Hochmomentschrauber eine Momentenstütze. Da diese meist maßgeschneidert ist, nutzt man solche Werkzeuge vor allem in Montagelinien. Wir haben in diese Gruppe auch elektrische Schrauber und pneumatische Abwürgeschrauber mit aufgenommen, die für die Nutzung mit Momentenstützen oder Gelenkarmen zur Bewältigung hoher Reaktionsmomente ausgelegt sind.

Wo werden sie eingesetzt?

Typische Einsatzorte für diese Hochmomentschrauber finden sich in der Automobilindustrie. Je nach Werkzeuggröße werden Nennmomente von 100 bis über 4000 Nm erreicht. Größere Werkzeuge werden hauptsächlich bei der Montage von schweren Fahrzeugen eingesetzt, wie etwa Lkw, Bussen und Geländefahrzeugen.

Große Schrauben zieht der Werker mit einem Hochmomentschrauber mit Pistolengriff ohne hohe Belastung an.

Das Arbeitsumfeld

Hochmomentschrauber verbessern das Arbeitsumfeld, sie haben praktisch keine negativen Auswirkungen. Allenfalls das Werkzeuggewicht ist für den Werker belastend, so dass diese Schrauber meist an Gewichtsausgleichern aufgehängt sind.

Ergonomisch durchdachte Konstruktion

Um die Geräuschentwicklung zu verringern und die Präzision zu verbessern, versuchten die Fertigungsingenieure in den siebziger Jahren, Schlagschrauber durch Abwürgeschrauber zu ersetzen. Die Werker beklagten sich jedoch über die etwa dreimal längeren Schraubzeiten. Das machte sich besonders an Montagelinien bemerkbar, die dadurch aus dem Takt gerieten. Eine gute Lösung war schließlich eine neue Schrauberkonstruktion mit zwei Motoren – einem schnellen für den Voranzug und einem langsameren für den Endanzug. Bei der Installation ist zu berücksichtigen, dass Werkzeuge mit Momentenstützen schwerer sind als andere. Hier empfehlen sich Balancer oder Gelenkarme.

Sicherheit

Die größte Gefahr beim Arbeiten mit Momentenstützen besteht im Klemmen, Quetschen oder sogar Abtrennen von Fingern. Die zwischen der Stütze und dem Werkstück wirkenden Kräfte sind enorm und können leicht einen Finger abtrennen. Daher tragen alle Maschinen den Warnhinweis: „Beim Schrauben nicht die Momentenstütze festhalten“.

GRIFFKONSTRUKTION

Kleine Maschinen haben für gewöhnlich einen Pistolengriff. Größere neigen wegen der zusätzlich nötigen Getriebe zur Kopflastigkeit. Ein Griff unter der Maschine, so nah wie möglich am Schwerpunkt angebracht, erleichtert die Handhabung.

ÄUSSERE BELASTUNG

Hochmomentschrauber sind schwer und sollten daher an Gewichtsausgleichern aufgehängt werden. Beim Anziehen werden die Reaktionskräfte aber von der Momentenstütze aufgefangen. Auffangen muss der Werker über das Handgelenk eher das Biegemoment, verursacht durch die Kopflastigkeit aufgrund der Momentenstütze.

GEWICHT

Ein Hochmomentschrauber mit Sensoren zum Messen von Drehmoment und Drehwinkel ist ein schweres Werkzeug. Darum empfiehlt sich ein Balancer oder Gelenkarm.

Da diese schwereren Schrauber nicht für wiederholungsintensive Tätigkeiten eingesetzt werden, ist der Werker auch keinen hohen dynamischen Kräften ausgesetzt.

Radmuttern an Lastkraftwagen und Bussen sind typische Anwendungen für Hochmomentschrauber.

TEMPERATUR

Diese Werkzeuge verursachen keine Temperaturprobleme.

REAKTIONSKRÄFTE

Die Momentenstütze verhindert eine Ruckbelastung am Griff.

VIBRATIONEN

Die deklarierten Vibrationspegel liegen unter 2,5 m/s^2.

LÄRM

Diese Schrauber erzeugen keinen Prozesslärm, ihr Nenngeräuschpegel liegt unter 80 dB(A).

STAUB UND ÖL

Bei der Arbeit mit diesen Werkzeugen entsteht kein Staub. Obwohl die Abluft geringe Mengen Öl enthält, werden die Werker kaum belastet, denn sie arbeiten immer nur kurzzeitig mit diesen Schraubern.

3 BEURTEILUNG VON KRAFTWERKZEUGEN

Einführung

Ergonomische Grundprinzipien für die Konstruktion handgeführter und handgehaltener Kraftwerkzeuge sind: Ihre Handhabung soll einfach sein und kein Gesundheitsrisiko für den Werker oder seine Umgebung darstellen. Ein mangelhaft konstruiertes Werkzeug birgt eine Vielzahl an Gefahren.

Wenn beispielsweise der Griff am Werkzeug nicht zum Arbeitsplatz oder zur Aufgabe passt, kann das ungünstige Arbeitshaltungen und eine Verminderung der Leistungsfähigkeit des Werkers zur Folge haben.

Oder die körperlichen Eigenschaften des Werkers wurden nicht ausreichend berücksichtigt. Dann kann ein Handwerkzeug durch seine Größe oder Form einen zu großen punktuellen Druck auf Blutgefäße und Nerven der Hand ausüben, was zu muskuloskeletalen Beschwerden führt. Diese Faktoren werden im Kapitel *„Griffkonstruktion“* erörtert.

Die für viele industrielle Anwendungen unbestreitbaren Vorteile leistungsstarker Handwerkzeuge können den Werkern durchaus auch Nachteile bringen. Nämlich dann, wenn auf sie einwirkende Kräfte (etwa Reaktionsmomente oder Vibrationen) jene Werte überschreiten, die ein Werker aushalten kann, ohne physiologische Schäden davonzutragen.

Das Führen schwerer Werkzeuge belastet die oberen Extremitäten andauernd und setzt bestimmte muskulo-skeletale Strukturen einer statischen Belastung aus. Die Vibrationen eines konventionellen Schlagwerkzeugs können für den Werker sehr unangenehm sein und das neuro-vaskuläre System der Hand schädigen (Weißfingersyndrom). Diese Faktoren werden in den Kapiteln *„Äußere Belastung“*, *„Gewicht“*, *„Reaktionskräfte“* und *„Vibrationen“* besprochen.

Bei handgeführten Werkzeugen können Berührungsflächen durch die Antriebsmotoren sehr heiß oder sehr kalt werden. Lärm, Staub und Öl beeinträchtigen nicht nur die Gesundheit des Werkers, sondern beeinflussen auch das Arbeitsumfeld. Ergonomische Betrachtungen zu diesen Risikofaktoren enthalten die Kapitel *„Temperatur“*, *„Lärm“* sowie *„Staub und Öl“*.

Da die Ergonomie noch eine relativ junge Wissenschaft ist, bedürfen viele der oben erwähnten Risikofaktoren noch genauerer Untersuchungen, um die quantitative Beziehung zwischen der Belastung der Werker und den Auswirkungen auf ihre Gesundheit bestimmen zu können.

Die in diesem Kapitel vorgestellte Beurteilungsmethode kann dazu genutzt werden, das beste Werkzeug für eine bestimmte Anwendung zu finden. Immer wenn Kraftwerkzeuge eingesetzt werden, lässt sich so auch feststellen, welche Auswirkungen eine Umgestaltung des Arbeitsplatzes hätte. Seit die erste Auflage dieses Buches herauskam, haben viele große Unternehmen diese Methode benutzt, um Kraftwerkzeuge unter ergonomischer Sicht zu beurteilen und auszuwählen.

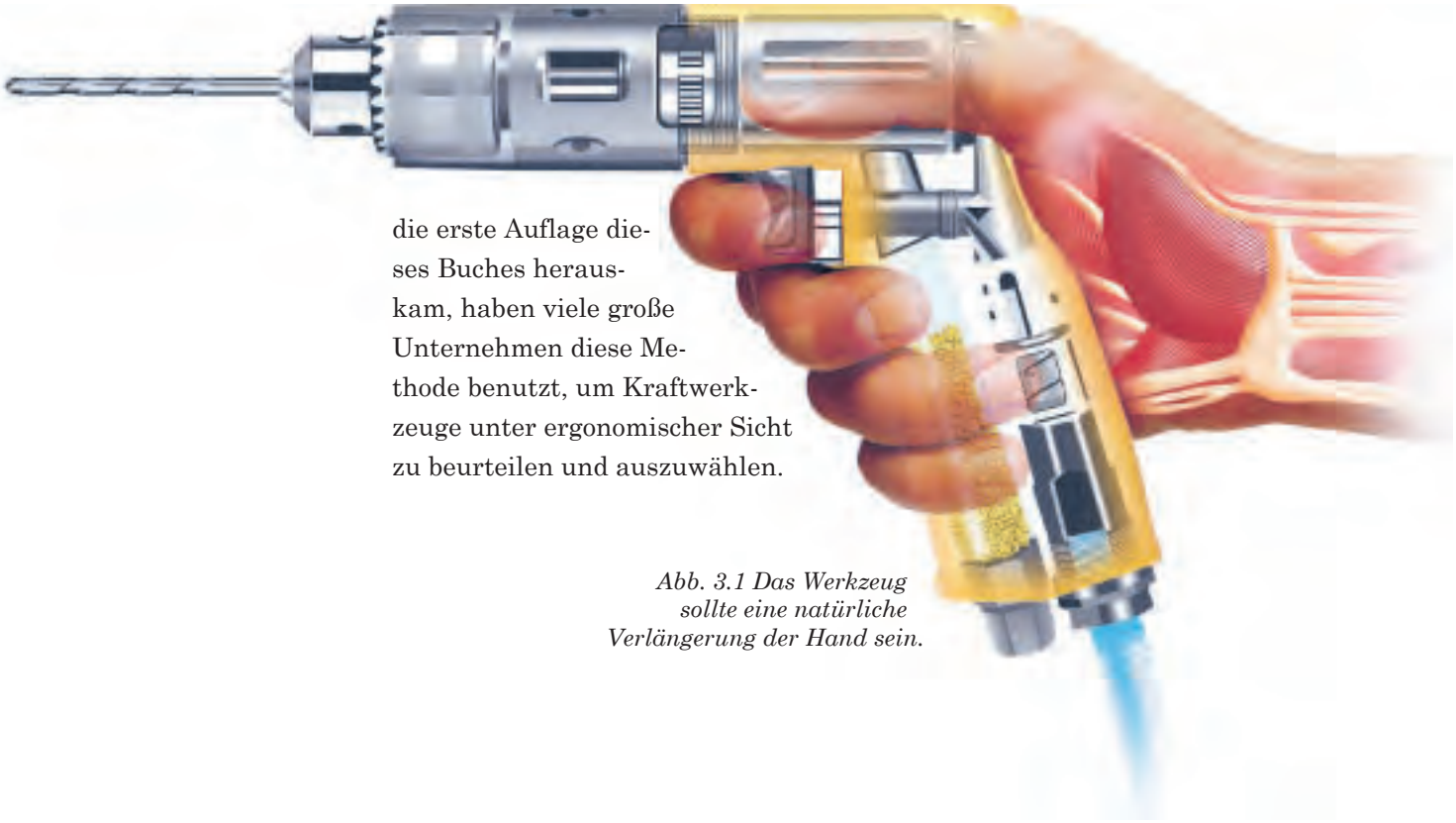


Abb. 3.1 Das Werkzeug sollte eine natürliche Verlängerung der Hand sein.

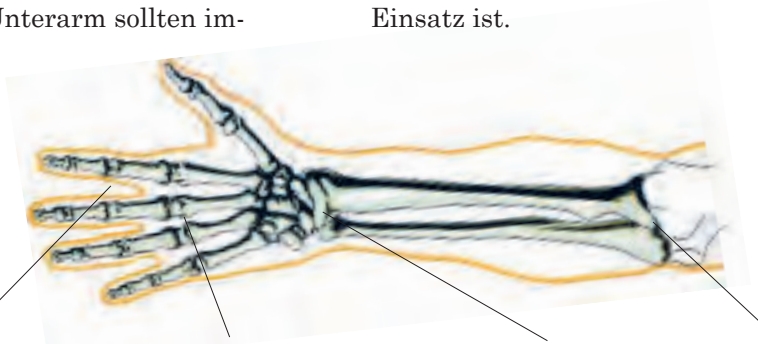
Griffkonstruktion

Der Griff eines Handwerkzeugs hat den innigsten Kontakt mit einer Hand oder beiden Händen eines Werkers. Daher bestimmt die Griffkonstruktion unmittelbar, wie komfortabel das Werkzeug ist. Ergonomen bemühen sich, Griffe zu konstruieren, die es ermöglichen, die Maschine sicher zu halten und die größtmögliche Kraft aufs Werkstück zu übertragen. Eine gute Griffkonstruktion führt zu einer natürlichen Arbeitshaltung und schließt schädigende punktuelle Belastungen der Hände aus.

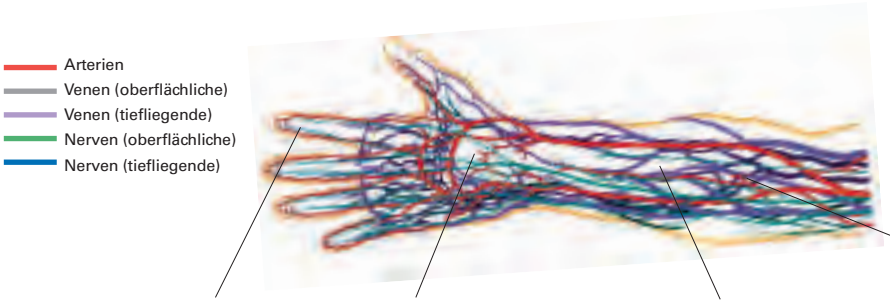
Vor- und Nachteile einzelner Griffkonstruktionen hängen ab vom Werkzeug, der auszuführenden Tätigkeit und dem Arbeitsplatz. Bei der Werkzeugwahl für einen bestimmten Arbeitsplatz sind bei der Bestimmung des richtigen Handgriffs die unterschiedlichen Arbeitshöhen und die aufzubringenden Kräfte zu berücksichtigen.

Die Arbeitshaltungen geben wichtige Orientierungspunkte für die Auswahl eines Werkzeuggriffs. Besonderes Augenmerk ist auf Hände, Schultern und Oberarme zu richten. Hand und Unterarm sollten immer eine gerade Linie bilden, wenn Kraft ausgeübt werden muss. Führt die Form des Werkzeugs zu extremen Handhaltungen, versucht der Werker meist, dies durch Heben des Armes oder der Schulter auszugleichen.

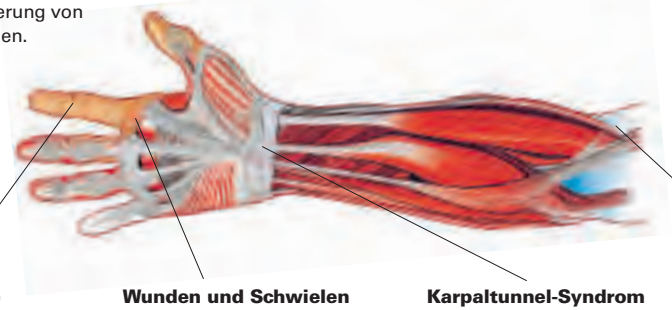
Die Stärke des auf die Schulter wirkenden Drehmoments bestimmt der Winkel, mit dem der Oberarm angewinkelt ist. Um die Schultermuskulatur zu entlasten, sollte dieser deswegen immer weniger als 20 Grad betragen, wenn ein Werkzeug ständig im Einsatz ist.



Problem	**Deformierung der Gelenke**	**Schleimbeutelentzündung (Bursitis)**	**Entzündung der Gelenkkapsel**	**Arthritis**
Ursache	Wiederholte äußere Belastung über einen langen Zeitraum.	Entzündung eines flüssigkeitsgefüllten Beutels (Bursa), der die Sehnen vor den knöchernen Wülsten schützt.	Wiederholte Belastung kann die Gelenksflüssigkeit austrocknen, welche die Gelenke schmiert.	Wiederholte Haltung der Arme in extremen Positionen, Stöße und wiederholte Drehungen des Armes.
Symptom	Verminderte Beweglichkeit der Gelenke, starke Schmerzen.	Schmerzen, die vom entzündeten Schleimbeutel herrühren.	Schmerzen während Bewegungen.	Verschlissene Gelenke, zunehmende Steifheit und Schmerzen während Aktivitäten.
Ergonomie	Werkzeuge, die hohe Andruckkräfte benötigen, sollten so konstruiert werden, dass die Hand in einer neutralen Stellung gehalten werden kann.	Kräfte und Bewegungen vermindern sowie unbequeme Hand- und Armpositionen vermeiden.	Konstruktion von Werkzeugen und Arbeitsstationen, die Veränderungen in der Haltung erlauben und geringere äußere Belastungen hervorrufen.	Reduktion der Kräfte, verbesserte Arbeitsbedingungen, Reduzierung oder Eliminierung von Stößen und Vibrationen.



Problem	Schädigung der Nerven und Blutgefäße der Finger	Stauchung/Komprimierung des Nervus medianus	Verminderte Blutzirkulation	Stauchung/Komprimierung der Nerven und Blutgefäße zwischen Hals und Schultern
Ursache	Hohe örtliche Kräfte und Vibrationen.	Abgewinkeltes Handgelenk und hohe Kräfte auf die Finger, eingeklemmte Griffhaltung. Sich wiederholende Arbeiten.	Kalte Griffe und Griffe, die zu klein sind.	Arbeit, die häufiges Greifen über Schulterhöhe erfordert.
Symptom	Kribbeln und Taubheit in den Fingern und/oder im Arm.	Schmerzen und Taubheit in der Hand, Schmerzen	Taubheit in der Hand. Schmerzen im Arm.	Taubheit in den Fingern. Die Arme können sich so anfühlen, als ob sie „einschlafen", und der Puls im Handgelenk wird schwächer.
Ergonomie	Vermeiden scharfer Kanten und Verminderung von Vibrationen.	Vermeiden eines abgewinkelten Handgelenks.	Verbesserung der Isolierung Bessere Griffkonstruktion.	Verbesserte Auslegung des Arbeitsplatzes, um häufiges Greifen über Schulterhöhe zu verringern.



Problem	Schnitte	Wunden und Schwielen	Karpaltunnel-Syndrom	Tennisarm
Ursache	Scharfe Kanten. Ungeschützte Einsteckwerkzeuge.	Hohe Reibungskräfte und Druck auf einen Punkt der Hand. Quetschverletzungen.	Sich oft wiederholende hohe Greifkraft mit abgewinkeltem Handgelenk.	Überlastung und Entzündung der Sehnenansatzpunkte im Ellenbogen (Laterale Epicondylitis).
Symptom	Blutungen und Infektionsrisiko.	Flüssigkeit zwischen den Hautschichten und örtliche Zunahme der Hautdicke Druck auf den Nervus medianus im Karpaltunnel.	Taubheit des Daumens und Zeigefingers durch den Druck auf den Nervus medianus im Karpaltunnel.	Schmerzen im Ellenbogen, in den Unterarm ausstrahlend.
Ergonomie	Bessere Schutzvorrichtungen. Warnungen.	Verbesserung der Oberflächenstruktur der Griffe, um genügend Reibung auf dem Griff zu erzeugen und die Auflagefläche zu erhöhen. Kein Quetschen durch Starter.	Arbeitsplatzdesign und Werkzeugwahl, welche dem Werker erlauben, mit geradem Handgelenk zu arbeiten.	Verringerung der Notwendigkeit von Klemm-/Quetschkräften sowie des Aufhebens von Gegenständen mit nach unten zeigender Handfläche (Handgelenksdehnung).

Das Hand-Arm-System

Der Aufbau des Hand-Arm-Systems ist überaus komplex. Wenn sich ständig wiederholende Tätigkeiten mit schlechter Arbeitshaltung und äußeren Belastungen einhergehen, kann das muskulo-skeletale Beschwerden an verschiedenen Stellen hervorrufen.

Bei der Wahl des Werkzeuggriffs und Planung des Arbeitsplatzes sollte man immer eine Arbeitshaltung mit geradem Handgelenk anstreben. Mehrere wichtige Nerven und Sehnen verlaufen durch den engen Karpaltunnel im Handgelenk. Bei extremen Handhaltungen werden sie zusammengedrückt. Das verursacht häufig Schäden an der Hand, wie etwa das Karpaltunnel-Syndrom.

Pistolengriffe setzen darum meist in einem Winkel von 70 Grad zur Längsachse des Werkzeugs an, weil das dem natürlichen Griffwinkel entspricht. Pistolengriffe werden auch bevorzugt, wenn sowohl Kraft als auch Präzision erforderlich sind. Denn die Hand packt den Pistolengriff in einer Kombination aus „Kraftgriff“ (bei dem sie den Griff fest umfasst) und „Präzisionsgriff“ (wie beispielsweise beim Halten eines Bleistiftes).

Kraftgriff *Präzisionsgriff*

Abb. 3.2 Beispiele von Kraft- und Präzisionsgriff.

Druck sollte der Griff nur an den Stellen auf die Hand ausüben, wo Fettpolster sind. Zu starker Druck schädigt die neuro-vaskulären Bündel zu beiden Seiten der Finger. Diese sind ungeschützt und deshalb verletzungsanfällig.

Auch die Mitte der Handfläche kann direkt einwirkenden Kräften kaum widerstehen. Das kommt durch die darunter liegenden empfindlichen anatomischen Strukturen, wie Nervus medianus, Arterien und Schleimbeutel der Fingerbeugesehnen.

Scharfe Kanten sind am Griff in jedem Fall zu vermeiden. Form-angepasste Griffe sollten ebenfalls vermieden werden. Manch wohlgeformter Griff sieht zwar so aus, als wäre er der Hand angepasst, doch gilt dies meist nur für eine ganz bestimmte Hand und nicht für den Durchschnitt.

Unsere Finger sind unterschiedlich stark. Der Mittelfinger ist der kräftigste, der kleine Finger der schwächste. Die Fähigkeit zur Kraftentwicklung verteilt sich im Durchschnitt zu 21 % auf den Zeige-, zu 34 % auf den Mittel-, zu 27 % auf den Ring-

und zu 18 % auf den kleinen Finger. Bei der Konstruktion und Anordnung eines Starters sollte das größere Kraftvermögen der stärkeren Finger ausgenutzt werden.

Griffgröße

Da ein Werkzeuggriff in der Regel mehrere Funktionen in sich vereint – wie etwa Lufteinlass, Starter und Umsteuerschalter, Schalldämpfer und Auslassventil –, ist die Griffkonstruktion immer ein Kompromiss. Will der Konstrukteur beispielsweise den Umfang des Griffes verringern, muss er auch den Schalldämpfer verkleinern, was wiederum die Geräuschdämpfung mindert.

Grifflänge

Wie bereits erwähnt, sind die Finger und die Mitte der Handfläche empfindlich gegen hohen Druck. Deshalb muss der Griff so groß sein, dass sich die einwirkenden Kräfte gut auf Handfläche und Finger verteilen.

Untersuchungen über die Breite der männlichen und weiblichen Hand zeigen, dass der Bereich, der die Kräfte auf die Handfläche verteilt, mindestens 90 mm lang sein sollte. Denn dann können die Kräfte vornehmlich von den Muskeln zu beiden Seiten der Handfläche aufgefangen werden. Bei Werkzeugen, mit denen besonders hohe Kräfte übertragen werden, sollte die Grifflänge sogar 100 bis 130 mm betragen.

Ist optimale Zugänglichkeit wichtig, sind kurze Handgriffe zu bevorzugen. Gleiches gilt bei Werkzeugen speziell für Frauenhände. Die optimale Grifflänge für Frauen liegt zwischen 90 und 110 mm, keinesfalls unter 80 mm. Werden bei der Arbeit Handschuhe getragen, sind noch 10 mm hinzuzufügen.

Griffdurchmesser

Wie viel Kraft der Werker auf das Werkstück ausüben kann, bestimmt in erster Linie der Griffdurchmesser. Packt man einen großen Griff, dann kann die mit den Fingerspitzen aufgebrachte Kraft zwei- bis dreimal größer sein als es mit den Finger-Innenseiten möglich wäre. Ist ein Griff hingegen zu klein, können die Finger keine ausreichende Kraft ausüben. Denn dann sind ihre Beugemuskeln verkürzt, können nicht mehr kontrahieren und keine Spannung erzeugen. Für runde Griffe werden folgende Abmessungen empfohlen:

- **Kraftgriff:** empfohlener Durchmesser 38 mm für Männer und 34 mm für Frauen; akzeptabler Bereich 30 bis 45 mm
- **Präzisionsgriff:** empfohlener Durchmesser 12 mm; akzeptabler Bereich 8 bis 16 mm.

Ein moderner Schrauber hat einen Griff mit einem viskoelastischen Überzug und einer ausgeprägten Haftung, um die benötigte Greifkraft zu reduzieren.

Stabschrauber können konische Griffe haben. Der Werker kann dann unterschiedliche Positionen auf dem Griff wählen und so den Durchmesser je nach Tätigkeit variieren. Hält der Werker seine Hand lieber am Ende der Maschine, ist ein Endanschlag gegen Abrutschen eine gute Lösung, wie etwa beim LUM.

Kontaktfläche

Die Fläche zwischen Griff und kraftausübender Hand darf nicht zu klein sein, weil das sonst Schmerzen verursacht. Als Faustregel sollte der Druck auf die Oberfläche der Haut 20 N/cm² nicht überschreiten.

Material und Oberflächenbeschaffenheit von Griffen

Griffe müssen gegen Elektrizität und Wärme ausreichend isoliert sein. Gummimischungen und Kunststoffe schirmen Wärme wirkungsvoll ab und sind oft auch gute elektrische Isolatoren.

Bei einigen Kraftwerkzeugen entstehen am Griff gefährlich hohe oder niedrige Temperaturen; die richtige Wahl des Isoliermaterials ist darum bei der Griffkonstruktion besonders wichtig.

Das Griffmaterial sollte so hart sein, dass sich weder Späne noch Schmutz darin festsetzen können. Besonders wichtig ist das bei Werkzeugen, die Staub oder andere Partikel emittieren, wie Schleifmaschinen.

Damit die Hand den Griff gut halten kann, muss die Reibung zwischen Hand und Griffoberfläche groß genug sein. Das

ist besonders wichtig, wenn große Kräfte aufgebracht werden müssen und die Hände schwitzen können. Verschiedene Materialien und Oberflächenstrukturen ergeben unterschiedliche Reibungswerte.

Geriffelte Gummigriffe bieten normalerweise ausreichend Reibung für ein sicheres Greifen und verringern die beim Arbeiten aufzuwendende Muskelkraft. Ist die Oberfläche jedoch zu rau, wird die Haut gereizt und die Arbeitsleistung beeinträchtigt. Ein Griff mit der richtigen Oberfläche verhindert, dass das Werkzeug aus der Hand rutscht und minimiert gleichzeitig die aufzubringende Haltekraft.

Der geriffelte, viskoelastische Griff hilft dabei, die Kontaktkräfte zu reduzieren.

Glänzende Überzüge und intensiv polierte Oberflächen sind zu vermeiden.

Atlas Copco setzt heute den gleichen geriffelten Gummityp auf allen Griffen ein. Die Oberfläche wurde sorgfältig ausgewählt, so dass sie unter allen Bedingungen gute Reibung bereitstellt. Gleichzeitig ist sie nicht so rau, dass die Haut gereizt würde.

Beurteilung der Griffkonstruktion

Zur Beurteilung der unterschiedlichen Aspekte des Griffes sind die nachstehenden Schritte zu befolgen:

1. Überprüfen Sie die verschiedenen Aspekte der Griffkonstruktion gemäß Tabelle 3.1, Seite 71. Männer und Frauen sind eventuell gesondert zu betrachten.
2. Vergeben Sie Punkte für die unterschiedlichen Aspekte des Werkzeugs unter Verwendung von Tabelle 3.1. Aspekte können wie folgt bewertet werden: bevorzugt = 0, akzeptabel = 1, zulässig = 3 oder zu vermeiden = 5 Punkte.
3. Je nachdem, für welche Anwendungen das Werkzeug vorgesehen ist, vergeben Sie entsprechend der zweiten Spalte in

Evaluierung handgehaltener Werkzeuge bezüglich der Griffauslegung					
Variablen	**Gewichtungsfaktoren (a)**	**bevorzugt (0)**	**akzeptabel (1)**	**zulässig (3)**	**zu vermeiden (5)**
Umfang mit aktiviertem Starter	a1=1, kein nennenswerter Kraftaufwand; a1=2, mit nennenswertem Kraftaufwand	Männer 110-130 mm; Frauen 100-120 mm	Männer 105-110 mm oder 130-140 mm; Frauen 95-100 mm oder 120-130 mm	Männer 100-105 mm oder 140-155 mm; Frauen 90-95 mm oder 130-140 mm	Männer <100 oder >155 mm; Frauen <90 oder >140 mm
Maximaler Umfang mit gelöstem Hebelstarter	a2=1	Männer <170 mm; Frauen <160 mm	Männer <180 mm; Frauen <170 mm	Männer <190 mm; Frauen <180 mm	Männer >190 mm; Frauen > 180 mm
Maximaler Umfang mit gelöstem Fingerstarter	a3=1	Männer <150 mm; Frauen <130 mm	Männer <160 mm; Frauen <140 mm	Männer <170 mm; Frauen <150 mm	Männer >170 mm; Frauen >150 mm
Länge bei Pistolengriff und Winkelwerkzeugen	a4=1, kein nennenswerter Kraftaufwand; a4=2, mit nennenswertem Kraftaufwand	Männer 100-120 mm; Frauen 85-100 mm	Männer 90-100 mm; oder 120-135 mm; Frauen 80-85 mm oder 100-120 mm	Männer 80-90 mm oder 135-150 mm; Frauen 75-80 mm oder 120-140 mm	Männer <80 or >150 mm; Frauen <75 or >140 mm
Länge bei geraden Werkzeugen	a5=1	Männer >100mm; Frauen >85 mm	Männer 90-100 mm; Frauen 80-85 mm	Männer 80-90 mm; Frauen 75-80 mm	Männer <80 mm; Frauen <75 mm
Endmarkierungen (damit die Hand spürt, wo der Griff zu Ende ist)	a6=0,5	Flache Endmarkierungen, mit ebener Oberfläche	Ohne Endmarkierungen	Absteigende oder hervorgehobene Markierungen	Endmarkierungen mit scharfen Kanten oder rauen Mustern, die störend im Einsatz wirken
Einstellbarkeit	a7=0,5	Einstellbar auf die Bedürfnisse des Anwenders	Nicht einstellbar		
Oberflächen-beschaffenheit	a8=0,5	Oberfläche, bei Bedarf mit Kontur, unterstützt Krafteinleitung und sorgt für sicheren Griff	Keine spezielle Oberfläche, aber erkennbar kein Verletzungsrisiko oder nachteilig für die Handhabung		Keine spezielle Oberfläche, Verletzungsrisiko
zähelastischer Überzug	a9=0,5	Ideales Material für komfortablen Griff	Kein Überzug	Geringer Griffkomfort	
Haftung und Kühlung	a10=0,5	Oberfläche speziell ausgelegt, um gute Haftung und Kühlung zu ermöglichen	Lackierte Oberfläche	Polierte Oberfläche	

* Werden Handschuhe benutzt, sollten alle Längenangaben um 10 mm größer werden.

Tabelle 3.1 Hilfestellung für die Griffevaluierung

Tabelle 3.1 einen Gewichtungsfaktor, der durch a1 bis a10 beschrieben wird.

4. Multiplizieren Sie die Punktzahl mit dem Gewichtungsfaktor und addieren Sie alle Punkte. Je niedriger die Punktzahl, desto besser ist das Werkzeug.

Literatur

Chaffin, D.B. and Andersson, G.B.J.: 1991, Occupational biomechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Olle Bobjer et al.: Friction between hand and handle, Effects of oil and lard on textured and untextured surfaces, Applied Ergonomics, 1993, Vol. 24, 190-202.

Eastman Kodak Company: 1983, Ergonomic design for people at work, Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Hall, C: 1995, Hand function with special regard to work with tools, Arbete och Hälsa (Ph.D. thesis) 1995:4

Pheasant, S.: 1986, Bodyspace, Taylor & Francis, London.

Putz-Anderson, V.: 1988, Cumulative trauma disorders, Taylor & Francis, London.

Sandvik - Ergonomiska verktyg på vetenskaplig grund.

Schleifer mit Handflächengriff.

Äußere **Belastung**

Beim Gebrauch eines handgeführten Kraftwerkzeugs ist das Hand-Arm-Schulter-System des Werkers den vom Werkzeug erzeugten Kräften und dessen Gewicht ausgesetzt. Zu hohe Belastungen dieser Art führen zur Ermüdung oder, im schlimmsten Fall, zur Schädigung des muskulo-skeletalen Systems. Um dieses Risiko zu verringern, sind bei der Arbeitsplatzgestaltung und der Werkzeugwahl Stärke, Häufigkeit und Dauer der Belastungen zu berücksichtigen.

Von handgeführten Kraftwerkzeugen ausgehende Kräfte

Zu typischen äußeren Belastungen gehören Vorschubkraft und Reaktionsmoment. Mit der Vorschubkraft wird ein Werkzeug in Richtung des Werkstücks gedrückt – etwa beim Bohren.

Sie wirkt bei einem Werkzeug mit Pistolen- oder Stabgriff normalerweise entlang der Längsachse, bei einem abgewinkelten Werkzeug rechtwinklig dazu.

Viele Werkzeuge nutzen das Rotationsprinzip. Während der Arbeit entsteht ein Drehmoment, das den Widerstand des Werkstücks überwindet. Mitunter erzeugt die Drehbewegung auch ein dynamisches Moment. Zusammen ergeben beide Momente das „Reaktionsmoment", dem die Hand des Werkers entgegenwirken muss.

In welcher Weise sich die Kräfte für den Werker auswirken, hängt von Werkzeug, Griff und ausgeführter Arbeit ab. So können die gleiche Vorschubkraft und das gleiche Reaktionsmoment unterschiedlich auf Arm, Hand und Schulter einwirken und die Muskeln unterschiedlich belasten.

Bearbeitet ein Werker ein vertikal aufgestelltes Werkstück, wird die Vorschubkraft eines Werkzeugs mit Pistolengriff durch die Muskelkraft begrenzt, mit der er das Werkzeug nach vorn drücken kann. Bei derselben Vorschubkraft ist sein Handgelenk einem größeren Biegemoment ausgesetzt, wenn er das Werkzeug in Schulter- statt in Ellenbogenhöhe hält (Abb. 3.3). Dieselbe Vorschubkraft ist bei einem Werkzeug mit Stabgriff an einem

Abb. 3.3 Die gleiche, vom Werker aufzubringende Vorschubkraft kann je nach Arbeitsposition das Handgelenk unterschiedlich belasten.

horizontalen Werkstück durch die Muskelkraft begrenzt, mit der der Werker das Werkzeug nach unten drücken kann (Druckkraft hin zur Elle). Die Kraft, mit der er das Werkzeug festhalten muss, kann ebenfalls ein limitierender Faktor sein, denn die Hand neigt dazu, vom Griff abzurutschen.

Ähnlich wirkt an einem vertikalen Werkstück ein Werkzeug mit Pistolengriff über ein axiales Drehmoment auf den Unterarm des Werkers. Daher bestimmt die Belastbarkeit seiner Unterarmmuskulatur gegen diese Verdrehung, welches Nennmoment maximal zulässig ist. Ein zu hohes Reaktionsmoment bei einem Schrauber mit Pistolengriff kann mit einem Winkelschrauber durchaus zu verkraften sein. Denn die Zugmuskulatur ist stärker, und ein Winkelschrauber bietet eine bessere Hebelwirkung (Abb. 3.4).

Alles in allem: Bei der Arbeit mit handgeführten Kraftwerkzeugen wirken Vorschubkraft und Reaktionsmoment je nach Werkzeugkonstruktion und Art der Tätigkeit unterschiedlich auf das Hand-Arm-System.

Abb. 3.4 Bei der Nutzung eines Werkzeugs mit Pistolengriff kann der Werker nur so viel Drehmoment erzeugen, wie er durch Drehung seines Handgelenkes im Uhrzeigersinn erzeugen kann (Supinations-Drehmomentbereich). Für höhere Drehmomente sind Winkelschrauber eine bessere Alternative, da hier die Zugkraft genutzt wird, um das Reaktionsmoment aufzufangen.

Das individuelle Kraftvermögen

Die vorgenannten Aktivitäten werden von der Muskelkraft des Werkers begrenzt. Ein gebräuchliches Maß dafür ist die größte Kraft, die eine Muskelgruppe unter bestimmten Bedingungen entwickeln kann.

Da die Muskeln willkürlich aktiviert werden müssen, spricht man in Verbindung mit der Muskelkraft auch vom Grad der maximal möglichen willkürlichen Kontraktion (MWK). Die gemessenen Muskelkraftwerte liegen selbst bei gut motivierten Personen unter der physiologischen Toleranz des Muskel-Sehnen-Knochen-Systems, was sozusagen als Sicherheitsfaktor gegen Überlastung dient. Die Größe dieses Faktors ist nicht genau bekannt, dürfte aber bei etwa 30 % liegen. Epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Verletzungsgefahr weitaus größer ist, wenn eine Tätigkeit eine größere Anstrengung erfordert, als jemand freiwillig aufzubringen gewillt wäre.

Normale Muskelkraftwerte werden an Freiwilligen gemessen, die spezifischen Gruppen angehören (zum Beispiel Männer, Frauen, Arbeitnehmer, ortsansässige Bevölkerung usw.). Es ist zu beachten, dass es bei der Muskelkraft erhebliche individuelle Unterschiede gibt: Die höchsten Werte können sechs- bis achtmal so hoch sein wie die niedrigsten.

Unter den vielen Faktoren, die sich auf die durchschnittliche Muskelkraft auswirken, sorgt das Geschlecht für die größten Unterschiede. Die durchschnittliche Kraft einer Frau beträgt etwa zwei Drittel der eines Mannes. Dieser Wert berücksichtigt das Zusammenspiel vieler Muskeln; die Kraft einzelner Muskeln im Hand-Arm-Schulter-System einer Frau beträgt etwa 35 bis 80 % der eines Mannes.

Auch das Alter wirkt sich auf die Muskelkraft aus. Generell ist die Kraft eines Menschen im Alter von Ende 20 bis Anfang 30 am größten und nimmt danach ab. Durchschnittlich ist die Kraft im Alter von 40 Jahren um circa 5 % und im Alter von 60 Jahren um 20 % geringer als mit Ende 20. Körperliche Unterschiede wie Gewicht und Statur beeinflussen die Muskelkraft ebenfalls.

Allerdings geben die Körpermaße allein keine zuverlässigen Anhaltspunkte in punkto Kraft. Daher genügt es nicht, für Tätigkeiten, die eine gewisse Kraft erfordern, Werker nur nach Größe, Gestalt oder Gewicht auszuwählen.

Es gibt Daten über Muskelkraftwerte für verschiedene Armbewegungen, die in unterschiedlichen Bevölkerungsgruppen erhoben wurden. Sie dienen den Werkzeugkonstrukteuren als Leitwerte

zur Auslegung der Werkzeuge in punkto Vorschubkraft und Reaktionsmoment.

Schub und Zug

Das Andrücken, sprich der Vorschub, ist eine der häufigsten Bewegungen bei handgeführten Werkzeugen. Für die Mehrheit der Werker wurde die maximale Vorschubkraft für einen Mann auf 275 N festgelegt, und zwar unter optimalen Bedingungen in sitzender Position.

Beim Vorschub werden die verhältnismäßig starken Armmuskeln – Bizeps, Brachialis und Trizeps – eingesetzt. Darum kann der Werker dabei eine bedeutend größere Kraft entwickeln, als wenn er einen nach innen, außen, oben oder unten gerichteten Druck auszuüben hat. Die Höchstwerte für das Kraftvermögen zeigt Tabelle 3.2.

Nach hinten ziehen
Nach vorne drücken
Heben in Richtung der Speiche
Drücken in Richtung der Elle
Drücken in Richtung der Handfläche
Drücken in Richtung des Handrückens

Abb. 3.5 Definitionen der Kraftwerte, die in Tabelle 3.2 enthalten sind.

Arbeiten im Stehen	Männer	Frauen
Nach vorne drücken mit gestrecktem Arm	450	340
Nach hinten ziehen	400	300
Nach unten drücken mit gestrecktem Arm	600	450
Heben in Richtung der Speiche	50	30
Drücken in Richtung der Elle	75	50
Drücken in Richtung des Handrückens	75	50
Drücken in Richtung der Handfläche	55	35

Arbeiten im Sitzen	Männer	Frauen
Nach vorne drücken mit gestrecktem Arm	275	180
Nach hinten ziehen	250	170
Heben in Richtung der Speiche	50	30
Drücken in Richtung der Elle	75	50
Drücken in Richtung des Handrückens	75	50
Drücken in Richtung der Handfläche	55	35

Tabelle 3.2 Werte für die maximale willkürliche Kontraktion (MWK) in Newton (N). Diese Daten aus der Praxis basieren auf wissenschaftlichen Ergebnissen und Erfahrung.

Moment des Handgelenks

Unterarmsupination bezeichnet das Drehen des Unterarms im Uhrzeigersinn, wie beim Anziehen einer Schraube. Drehen gegen den Uhrzeigersinn, wie beim Lösen, nennt man Unterarmpronation. Dabei können Männer im Durchschnitt eine größere Kraft entwickeln.

Die durchschnittlichen maximalen Werte für Unterarmsupination und -pronation bei Männern entsprechen einem Drehmoment von 15 Nm. Nutzt man das Verhältnis von 2/3 für die Schätzung bei Frauen, ergeben sich für sie jeweils rund 10 Nm.

Die Beugung zur Speiche oder Elle hin (radiale bzw. ulnare Flexion) bezeichnet die Drehung des Handgelenkes in die jeweilige Richtung. Die Beugung zur Speiche tritt etwa beim Heben eines Stabschraubers auf, die Beugung zur Elle beim Herunterdrücken. Die maximal möglichen Momente für diese Bewegungen liegen für Männer bei 15 Nm, für Frauen geschätzt bei 10 Nm.

Die Beugung zum Handrücken oder zur Handinnenfläche hin tritt zum Beispiel beim Einsatz eines Stabschraubers auf. Die Bewegung zum Handrücken hin (dorsale Flexion) wird beim Anziehen, die Beugung zur Handinnenfläche hin (palmare Flexion) beim Lösen von Schrauben mit Rechtsgewinde ausgeführt. Das maximale dorsale Drehmoment für Männer liegt bei etwa 10 Nm, palmar bei 15 Nm.

Pronation (Drehen entgegen Uhrzeigersinn)

Supination (Drehen im Uhrzeigersinn)

Beugung zur Speiche hin

Beugung zur Elle hin

Beugung zum Handrücken hin

Beugung zur Handinnenfläche

Abb. 3.6 Definitionen der in Tabelle 3.3 angegebenen Drehmomente, die das Handgelenk ausführen kann.

Arbeiten im Stehen und Sitzen	Männer	Frauen
Supination (Drehen im Uhrzeigersinn)	15	10
Pronation (Drehen entgegen Uhrzeigersinn)	15	10
Beugung zur Speiche hin	15	10
Beugung zur Elle hin	15	10
Beugung zum Handrücken hin	10	7
Beugung zur Handinnenfläche	15	10

Tabelle 3.3 Werte für die maximale willkürliche Kontraktion (MWK) bei Handgelenksdrehmomenten in Newtonmetern (Nm). Diese Werte aus der Praxis basieren auf wissenschaftlichen Ergebnissen und Erfahrungen.

Greifen

Die größte Greifkraft, die ein Werker ausüben kann, ist abhängig von den Abmessungen des Objektes, dessen Querschnitt und der Art des Griffs. Die maximale Greifkraft für ein Objekt mit rundem Querschnitt und optimalem Durchmesser (circa 38 mm für Männer und 34 mm für Frauen) beträgt im Durchschnitt 500 N bei Männern und 350 N bei Frauen.

Weil die Hand dazu neigt, am Griff eines Werkzeugs abzurutschen, können diese Kraftwerte in Verbindung mit Größe und Oberflächenbeschaffenheit des Griffs dazu dienen, die maximal möglichen Werte für Vorschubkraft und Rotationsmoment für ein zylindrisches Werkzeug, etwa einen Stabschrauber, zu bestimmen.

Die maximal mögliche Vorschubkraft kann mit der folgenden Formel berechnet werden:

$$\textit{Maximale Vorschubkraft} = \textit{maximale Greifkraft} \cdot \mu$$

μ ist der Reibungskoeffizient, der zwischen 0,10 und 2,22 liegen kann, abhängig von der Oberflächenstruktur des Griffes, den Materialeigenschaften sowie den Umgebungsbedingungen wie Temperatur und Schmierung. In Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten reicht die Vorschubkraft bei Männern von 50 bis zu 1100 N (maximale Greifkraft 500 N) und bei Frauen von 35 bis 750 N (maximale Greifkraft 350 N). Diese Werte lassen sich mit denen für das Drücken zur Elle hin (75 N für Männer und 50 N für Frauen) vergleichen, die in der Tabelle 3.2 angegeben sind. Bei den meisten Griffkonstruktionen (Griffreibung) sind die vom Hand-Arm-System ausübbaren Kräfte die begrenzenden Faktoren und nicht der Griff selbst.

In gleicher Weise lässt sich auch das maximal mögliche Drehmoment berechnen.

Starten

Die gängigsten Startervarianten sind Finger-, Hebel- und Daumenstarter. Um den Fingerstarter zu beurteilen, muss bekannt sein, welche Finger zum Starten verwendet werden. Wird nur ein Finger genutzt, sollte die MWK für diesen verwendet werden. Nutzt der Werker jedoch mehrere Finger zum Starten, können die MWK-Werte für diese Finger addiert werden.

Wird ein Hebelschalter mit der Handinnenfläche bedient, wie bei einer Standardschleifmaschine, wirken Vorschub- und Starterbetätigungskraft in dieselbe Richtung. Trotzdem sollte die Betätigungskraft nicht mehr als 30 % der durchschnittlichen Vorschubkraft betragen. Diese Regel gilt beispielsweise für Daumenstarter bei Meißelhämmern, wo die Betätigungskraft ebenfalls in Richtung der Vorschubkraft aufgebracht werden muss.

Arbeiten im Sitzen	Männer	Frauen
Greifkraft	500	350

Tabelle 3.4 Werte für die maximale willkürliche Kontraktion (MWK) bei der Greifkraft in Newton (N).

Finger	Maximale Kapazität einzelner Finger Männer	Frauen	MWK bei der Bedienung des Starters
Daumen	100	65	= Summe der
Zeigefinger	80	50	maximalen
Mittelfinger	130	85	Kapazitäten
Ringfinger	100	65	der involvierten
Kleiner Finger	70	45	Finger

Tabelle 3.5 MWK einzelner Finger für die Starterbedienung in Newton (N). Diese Werte aus der Praxis basieren auf wissenschaftlichen Ergebnissen und Erfahrungen.

Zulässige Belastungsgrenzwerte

Bedeutung der Belastungspegel

Alle genannten Kraftgrenzwerte beziehen sich auf die maximal mögliche willkürliche Kontraktion (MWK) normaler Werker. Wegen der physischen Unterschiede sollte idealerweise die MWK des jeweiligen Werkers zugrunde gelegt werden. Bei industriellen Arbeiten kann schon eine Belastung von mehr als 30 % der MWK große muskulo-skeletale Störungen hervorrufen; 40 % der MWK können die Blutzirkulation beeinträchtigen. Bei gelegentlichen Tätigkeiten ist die Belastung auf 50 % des maximalen Kraftvermögens des Werkers zu begrenzen und darf 70 % der MWK nicht überschreiten. Bei wiederholungsintensiven Tätigkeiten sollte die Belastung auf 10 bis 15 % der MWK beschränkt sein.

Reduzierte MWK

Um den maximal zulässigen Kraftaufwand für eine Tätigkeit zu bestimmen, sollte das maximale Kraftvermögen eines Menschen berücksichtigt werden (Tab. 3.2 und 3.3). Dieser Wert sollte entsprechend der typischen Bewegungsgeschwindigkeit des Werkzeugs, der Häufigkeit der Tätigkeit und der Nutzungsdauer des Werkzeuges pro Tag verringert werden *(Sicherheitsfaktoren a1, a2 und a3).*

Sicherheitsfaktor a_1

Geschwindigkeit der Bewegungsabläufe beim Arbeiten

Das maximale Kraftvermögen der Muskeln nimmt ab, wenn diese sich schnell zusammenziehen. Das liegt an der Reibung innerhalb der Muskeln. Darum sollte bei Tätigkeiten, die schnelle Bewegungen erfordern, die zulässige Höchstkraft geringer sein. In diesen Fällen ist ein Sicherheitsfaktor von 0,8 anzusetzen. Bei Montagearbeiten sind meistens schnelle Bewegungen erforderlich; bei materialabtragenden Tätigkeiten dagegen selten.

Art der Arbeit	Sicherheitsfaktor a_1
ohne schnelle Bewegungen	1
mit schnellen Bewegungen	0,8

Tabelle 3.6 Bei schnellen Bewegungen muss die MWK mit Hilfe des Sicherheitsfaktors a1 reduziert werden.

Sicherheitsfaktor a_2

Häufigkeit der Tätigkeit

Das Vermögen von Muskeln, Kraft zu erzeugen, sinkt mit dem Grad ihrer Ermüdung. Diese hängt von Häufigkeit und Dauer der Tätigkeit ab. Um bei wiederholungsintensiven Abläufen Auswirkungen auf das maximale Kraftvermögen zu vermeiden, sollte ein Sicherheitsfaktor gemäß Tabelle 3.7 eingebaut werden.

Dauer der Tätigkeit (s):	Häufigkeit der Tätigkeit (pro Minute):		
	<6		>6
<3	1,0	Sicherheitsfaktor a_2	0,6
3-10	0,7		0,3
>10	0,6		-

Tabelle 3.7 Bei häufigen Bewegungen muss die MWK mit Hilfe des Sicherheitsfaktors a2 reduziert werden.

Ist die Häufigkeit nicht bekannt, kann Tabelle 3.10 für die Schätzung nützlich sein. Beispielsweise beträgt die Gesamtdauer für die Arbeit mit einem Schrauber 2 Stunden pro Tag. Angenommen, jeder Anziehzyklus dauert 2 Sekunden, sind das 3600 Zyklen pro Tag oder 450 pro Stunde und im Schnitt 7,5 Anzüge pro Minute. In diesem Fall beträgt der Sicherheitsfaktor a2 = 0,6.

Sicherheitsfaktor a_3

Die Gesamtdauer einer Tätigkeit

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Gesamtdauer pro Tag (a_3) sollten etwaige andere Tätigkeiten berücksichtigt werden, welche dieselben Muskelgruppen beanspruchen. Allerdings müssen diese Tätigkeiten ebenfalls beurteilt werden, was die Bewertung erschwert.

Beträgt die Gesamtdauer der Tätigkeit weniger als eine Stunde pro Arbeitstag, kann ihr Einfluss auf die Muskelermüdung vernachlässigt werden. Dauert sie insgesamt länger als eine Stunde, so ist bei der Berechnung des maximal zulässigen Kraftaufwandes ein Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen. Liegt die Gesamtdauer der Tätigkeit zwischen einer und 2 Stunden, ist ein Sicherheitsfaktor von 0,8 einzusetzen; bei einer Dauer von mehr als 2 Stunden pro Arbeitstag beträgt der Sicherheitsfaktor 0,5.

Gesamtdauer der Tätigkeit pro Tag	Sicherheitsfaktor a_3
weniger als 1 h	1
zwischen 1 und 2 h	0,8
mehr als 2 h	0,5

Tabelle 3.8 Abhängig von der Gesamtdauer der Tätigkeit muss die MWK mit Hilfe des Sicherheitsfaktors a3 reduziert werden.

Tatsächliche äußere Belastung

Nachdem die MWK verringert wurde, sollte man die verbleibende zulässige Kraft (bzw. Drehmoment) mit der tatsächlichen äußeren Belastung vergleichen. Ist diese nicht bekannt, kann sie gemessen werden – wie die Starterbetätigungskräfte für unter Druck stehende Druckluftwerkzeuge.

Maschinentyp	Durchschnittliche Kraft (N)	Streuung±(N)
Schleifer	60	40
Bohrmaschinen	150	100
Meißelhämmer	120	60
Niethämmer	100	50
Drehschrauber	50	20
Kleinschrauber	50	20

Tabelle 3.9 Typische Vorschubkräfte für verschiedene Maschinengruppen.

Druck- und Schubkräfte sind dagegen in einem Prozess nicht einfach zu messen. Tabelle 3.9 enthält geschätzte Vorschubkräfte für verschiedene Werkzeuggruppen. Selbstverständlich nimmt die Kraft proportional zur Leistung der eingesetzten Maschine zu, wie der Streuwert in der Tabelle zeigt.

Beurteilung der äußeren Belastung

Zweck der Beurteilung ist ein Vergleich zwischen der berechneten, zulässigen Belastung und der tatsächlichen. Der MWK-Wert kann für die verschiedenen Belastungen den obigen Tabellen entnommen werden. Er sollte entsprechend den Empfehlungen reduziert werden.

Schließlich wird als Hilfswert der R-Wert für jede Belastung berechnet, indem die tatsächliche äußere Belastung durch die reduzierte MWK geteilt wird.

Die Punktzahl für diese äußere Belastung kann Abbildung 3.7 entnommen werden. Diese Prozedur sollte für jede äußere Belastung durchgeführt werden. Die Gesamtpunktzahl ist die Summe der Punkte für jede einzelne Belastung.

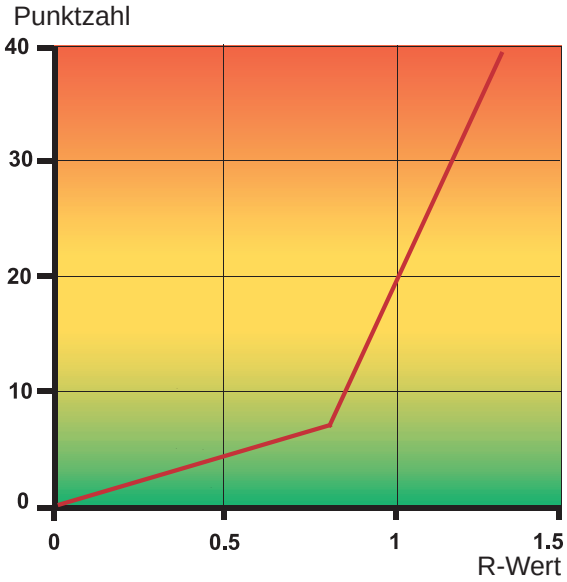


Abb. 3.7 Die Punktzahl für die äußere Belastung kann dieser Grafik entnommen werden, indem der R-Wert für jede auftretende äußere Last berücksichtigt wird.

Anmerkungen zu den verschiedenen Werkzeugtypen

Ein Werkzeug kann für viele Aufgaben eingesetzt werden; die Belastung des Werkers ist immer einzigartig. Die folgenden Anmerkungen sind daher nur ein grober Anhaltspunkt dafür, was beachtet werden muss, wenn die Belastung eines Werkers geschätzt wird.

Generell benötigen stärkere Maschinen höhere Kräfte. Das sollte berücksichtigt werden, wenn eine Kraft einer Tabelle entnommen wird, die zusätzlich eine Streuung angibt.

Ist nicht bekannt, wie häufig wirklich der Starter einer Maschine pro Tag gedrückt ist, liefert Tabelle 3.10 einen Richtwert.

Maschinentyp	Einsatzzeit (in Stunden pro Tag)	Streuung ± (Stunden)
Schleifer	3	1,5
Bohrmaschinen	1	0,5
Meißelhämmer	2	1,5
Niethämmer	1	0,5
Kleinschrauber	2	1
Schlagschrauber	1	0,5
Impulsschrauber	2	1
Winkelschrauber	2	1
Abwürgeschrauber	1	0,5

Tabelle 3.10 Typische Einsatzdauer verschiedener Maschinentypen pro Tag.

Schleifmaschinen

Vorschub- und Starterbetätigungskraft sind die wichtigsten äußeren Belastungen beim Einsatz einer Schleifmaschine. Die Vorschubkraft setzt sich üblicherweise aus einer konstant nach unten oder vorne gerichteten Andruckkraft und der ulnaren Flexion (Beugung des Handgelenks zur Elle) zusammen.

Für Maschinen, die mit beiden Händen geführt werden, wird für die Berechnung das Drehmoment auf beide Hände verteilt und der Einfluss der Werkzeugmasse vernachlässigt. Dieses Vorgehen führt zu Kräften, die bis zu 50 % zu hoch liegen. Bei pneumatischen Werkzeugen liegt die auf den Stützgriff wirkende Kraft normalerweise bei 70 % der Gesamtvorschubkraft, bei elektrischen Werkzeugen bei 80 %.

Das Drehmoment, das auf das zur Elle hin gebeugte Handgelenk wirkt, lässt sich schätzen als Produkt aus der auf den Stützgriff wirkenden Kraft und dem horizontalen Abstand zwischen Stützgriff-Mittelpunkt und dem Punkt der Schleifscheibe, an dem die nach unten gerichtete Andruckkraft aufgebracht wird.

Wird das Werkzeug mit einer Hand bedient, entspricht die Vorschubkraft der Kraft in dieser Hand; das entsprechende Drehmo-

ment im Handgelenk entspricht dem Produkt aus Vorschubkraft mal dem Abstand zwischen Mittelpunkt der Hand und dem Punkt auf der Schleifscheibe, an dem die Kraft aufgebracht wird.

Auch die Starterbetätigungskraft kann gemessen werden. Je nach Startertyp wird diese über mehrere Finger aufgebracht.

Bei der normalen Nutzung von Schleifmaschinen sind keine schnellen Bewegungen nötig. Die Häufigkeit beträgt weniger als 6 Mal pro Minute, die Dauer über 10 Sekunden pro Einsatz.

Die Gesamteinsatzdauer kann sehr stark variieren. Versuchen Sie, die tatsächliche Dauer für den Arbeitsplatz herauszufinden. Gelingt das nicht, ziehen Sie Tabelle 3.10 zu Rate.

Bohrmaschinen

Die wichtigen Kräfte sind Kraft und Drehmoment der Vorschubkraft, das durch den Bohreinsatz hervorgerufene Drehmoment sowie die Starterbetätigungskraft.

Bei Bohrmaschinen mit Pistolengriffen ist die Vorschubkraft eine horizontale oder vertikale Druckkraft. Das resultierende Drehmoment entspricht dem Abstand zwischen Hauptachse des Werkzeuges und Mittelpunkt der Hand multipliziert mit der Vorschubkraft. Dieses Drehmoment dreht das Handgelenk zur Elle hin. Der Bohrvorgang selbst löst ein Supinations-Drehmoment aus. Ist die Leistung der Bohrmaschine bekannt, kann das maximale Drehmoment wie folgt berechnet werden (unter der Annahme, die maximale Leistung trete auf, wenn die Bohrmaschine unter Last mit der halben Leerlaufdrehzahl arbeitet):

Maximales Drehmoment =
maximale Leistung × 20 / Leerlaufdrehzahl

Bohrmaschinen mit Pistolengriff haben normalerweise einen Starter, der mit Zeige- oder Mittelfinger bedient wird. Mit Stabbohrmaschinen kann die maximale Kraft aufgebracht werden, wenn sie stehend oder sitzend nach unten oder vorne gedrückt werden. Das Handgelenk dreht sich zum Handrücken hin, um dem Reaktionsmoment beim Bohren entgegenzuwirken. Weist der Griff nur geringe Reibung auf, kann in manchen Fällen die Greifkraft die limitierende Kraft sein.

Bei einhändig geführten Winkelbohrmaschinen beugt die Vorschubkraft das Handgelenk zur Elle hin. Dieses Drehmoment ist das Produkt aus Vorschubkraft und dem Abstand zwischen Bohreinsatz und Mittelpunkt der Hand.

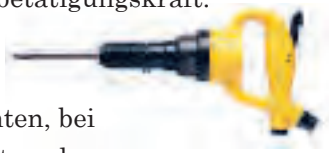
Beim normalen Gebrauch von Bohrmaschinen sind keine schnellen Bewegungen nötig. Sie werden weniger als 6 Mal pro

Minute eingesetzt, jedes Mal mehr als 10 Sekunden.

Die Gesamteinsatzdauer kann stark variieren. Versuchen Sie, die tatsächliche Zeit für den zu analysierenden Arbeitsplatz herauszufinden. Multiplizieren Sie dazu die Anzahl der zu bohrenden Löcher mit der Zeit, die zum Bohren eines Loches benötigt wird. Ist das nicht möglich, legen Sie die Werte in Tabelle 3.10 zugrunde.

Schlagende Werkzeuge

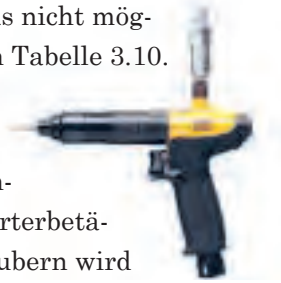
Hier sind die wichtigen Kräfte die Vorschub- und die Starterbetätigungskraft. Bei Meißelhämmern wirkt die Vorschubkraft konstant nach unten, bei Niethämmern konstant nach vorne.



Je nach Konstruktion wird der Starter mit Daumen oder Zeigefinger bedient, bei geraden Meißelhämmern meist mit mehr als einem Finger.

Beim normalen Gebrauch von Meißelhämmern treten keine schnellen Bewegungen auf. Die Häufigkeit beträgt weniger als 6 Einsätze pro Minute, jeder Einsatz dauert mehr als 10 Sekunden. Niethämmer werden oft häufiger als 6 Mal pro Minute gebraucht, aber jeweils weniger als 1 Sekunde.

Die Gesamteinsatzdauer kann stark variieren. Versuchen Sie, den tatsächlichen Wert für den zu analysierenden Arbeitsplatz herauszufinden. Ist das nicht möglich, nutzen Sie die Werte in Tabelle 3.10.



Kleinschrauber

Wichtige Kräfte sind Anziehmoment, Vorschub- und Starterbetätigungskraft. Bei Stabschraubern wird das Handgelenk durch das Reaktionsmoment zum Handrücken hin gebeugt. Dieses Drehmoment wird über die Reibung zwischen Hand und Werkzeugoberfläche auf die Hand übertragen. Bei Oberflächen mit geringem Reibungskoeffizienten kann die Greifkraft der limitierende Faktor sein. Das maximale Drehmoment, das eine gegebene Greifkraft übertragen kann, ergibt sich aus Greifkraft mal Reibungskoeffizient mal Griffdurchmesser.

Der limitierende Faktor ist normalerweise die Fähigkeit des Handgelenkes, das Drehmoment aufzunehmen.

Der Werker benötigt eine hohe Vorschubkraft, speziell bei selbstschneidenden Schrauben. In diesen Fällen kann die Greifkraft die Vorschubkraft begrenzen. Die Starterbetätigungskräfte sind normalerweise gering und werden auf mehrere Finger verteilt.

Bei der Analyse von Schraubern mit Pistolengriff sollten ebenso Anzugsdrehmo-

ment wie Gewichtsverteilung, Vorschubkraft und Starterbetätigungskraft beachtet werden. Das Anzugsdrehmoment wirkt als Supinationsdrehmoment auf das Handgelenk.

Eine schlechte Gewichtsverteilung beugt das Handgelenk zur Speiche hin – entsprechend einem Moment, das sich als Produkt aus Werkzeuggewicht und Abstand zwischen seinem Schwerpunkt und dem Griffmittelpunkt ergibt. Dieses Drehmoment kann problematisch sein, während der Schrauber zur Schraube und von ihr weg geführt wird.

Kraft und Drehmoment, welche durch die Vorschubkraft auftreten, werden genau wie bei Bohrmaschinen beurteilt.

Die Starterbetätigungskraft wird normalerweise von Zeige- oder Mittelfinger aufgebracht.

Beim normalen Einsatz von Schraubern treten schnelle Bewegungen auf. Die Häufigkeit beträgt mehr als 6 Mal pro Minute bei einer Dauer von weniger als 3 Sekunden pro Schraube.

Die Gesamteinsatzdauer kann sehr stark variieren. Finden Sie die tatsächliche Einsatzdauer für den Arbeitsplatz heraus! Dazu multiplizieren Sie die Anzahl der zu setzenden Schrauben mit der Zeit, die zum Anziehen einer Schraube benötigt wird. Ist das nicht möglich, nutzen Sie die Werte in Tabelle 3.10.

Schlag- und Impulsschrauber

Hier sind Gewichtsverteilung des Werkzeugs, Starterbetätigungs- und Vorschubkraft sowie – bei stärkeren Schraubern – das Drehmoment des Motors zu berücksichtigen.

Eine schlechte Gewichtsverteilung kann das Handgelenk zur Speiche hin beugen. Das entsprechende Moment ergibt sich als Produkt aus Werkzeuggewicht und Abstand zwischen Schrauber-Schwerpunkt und Griffmittelpunkt.

Der Starter wird normalerweise mit dem Zeige- oder Mittelfinger ausgelöst.

Manchmal muss die Vorschubkraft berücksichtigt werden, zum Beispiel, wenn mit kleinen Schlagschraubern selbstschneidende Schrauben gesetzt werden.

Das Reaktionsmoment, das auf den Griff wirkt, ist nur ein Bruchteil des tatsächlichen Nenndrehmomentes. Das vom Werker empfundene Drehmoment rührt nur vom Lamellenmotor her. Bei einem Impulsschrauber kann dieses Drehmoment geschätzt werden als dessen Maximalmoment geteilt durch 40, bei einem Schlagschrauber geteilt durch 120.

Bei Schlag- und Impulsschraubern treten schnelle Bewegungen auf. Die Häufigkeit beträgt mehr als 6 Mal pro Minute bei einer Dauer von weniger als 3 Sekunden pro

Schraube. Die Gesamteinsatzdauer kann sehr stark variieren. Finden Sie die tatsächliche Einsatzdauer für den Arbeitsplatz heraus! Dazu multiplizieren Sie die Anzahl der zu setzenden Schrauben mit der Zeit für das Anziehen pro Schraube. Ist das nicht möglich, legen Sie die Werte in Tabelle 3.10 zugrunde.

Winkelschrauber

Die wichtigen Kräfte sind das Reaktionsdrehmoment beim Anziehen, die Gewichtsverteilung des Schraubers sowie die Starterbetätigungskräfte. Beträgt die Anzugszeit für eine Schraube weniger als 300 ms, wird das Reaktionsmoment als Ruck empfunden. Bei über 30 ms haben die Muskeln das Hand-Arm-Systems Zeit gegenzuhalten, und das Reaktionsmoment wird als Kraft betrachtet, die auf das Hand-Arm-System einwirkt.

In den meisten Fällen wird der Winkelschrauber zweihändig geführt. Dann muss der Werker im rechten Arm eine konstante Zugkraft und mit dem linken eine etwas geringere Druckkraft aufbringen. Dies kann jedoch je nach Arbeitshaltung stark variieren; viele Probleme in Bezug auf die Reaktionskräfte beruhen auf ungünstigen Haltungen, die zum Erreichen der Schraube nötig sind. Werden Winkelschrauber einhändig geführt, müssen die Reaktionskräfte durch eine konstante Zugkraft und die Beugung des Handgelenks zur Handinnenfläche ausgeglichen werden. Die Zugkraft entspricht dem Nenndrehmoment geteilt durch den Abstand zwischen Winkelkopf und Griffmitte. Das durch die Beugung verursachte maximale Moment lässt sich wie folgt schätzen: Nenndrehmoment geteilt durch den Abstand zwischen Winkelkopf und Griffmitte mal Höhe des Winkelkopfs über dem Schraubenkopf. Bei einhändigen Tätigkeiten unter Einsatz von Verlängerungen wird dieses Moment also oft sehr hoch.

Beim Bewegen des Werkzeugs mit einer Hand wird zudem das Handgelenk zur Speiche hin gebeugt. Das Moment ergibt sich aus Werkzeuggewicht mal Abstand zwischen Schwerpunkt und Griffmittelpunkt. Eine schlechte Gewichtsverteilung kann stark belasten; größere Werkzeuge müssen daher mit Gewichtsausgleichern versehen werden, um die zur Speiche hin gerichtete Bewegung aufzufangen.

Beim normalen Gebrauch von Winkelschraubern treten schnelle Bewegungen auf. Die Einsatzhäufigkeit liegt bei mehr als 6 Mal pro Minute bei einer Dauer von weniger als 3 Sekunden pro Anziehzyklus. Die Gesamteinsatzdauer kann sehr stark variieren. Finden Sie die tatsächliche Einsatzdauer für den Arbeitsplatz heraus! Dazu multiplizieren

Sie die Anzahl der zu setzenden Schrauben mit der Dauer für das Anziehen pro Schraube. Ist das nicht möglich, verwenden Sie die Werte in Tabelle 3.10.

Schrauber in Verbindung mit Momentenstützen

Die einzigen Kräfte, denen der Werker ausgesetzt ist, resultieren aus der Handhabung des Werkzeugs, der Aufhängung und der Starterbetätigungskraft.

Manche Werker versuchen, mit einer höheren Geschwindigkeit zu arbeiten, als das System verträgt. Wegen der oft schweren Aufhängung treten dabei hohe Beschleunigungskräfte auf.

Der normale Einsatz von Schraubern mit Momentenstütze erfordert jedoch keine schnellen Bewegungen. Die Häufigkeit beträgt weniger als 6 Mal pro Minute bei einer Einsatzdauer von weniger als 3 Sekunden pro Anziehvorgang.

Die Gesamteinsatzdauer kann sehr stark variieren. Sie können die Anzahl der zu setzenden Schrauben mal der Anzugsdauer einer Schraube verwenden. Ist das nicht möglich, legen Sie die Werte aus Tabelle 3.10 zugrunde.

Literatur

Atlas Copco Tools AB: 1990, Tryckluftdrivna industrimaskiner, Training material from Atlas Copco Tools AB, Stockholm.

Björksten, M., Jonsson B.: 1977, Endurance limit of force in long-term intermittent static contractions, Scand J Work Environment & Health 3:23-27.

Byström, S.: 1991, Physiological response and acceptability of isometric intermittent handgrip contractions, Doctoral thesis, National Institute of Occupational Health, Stockholm.

Chaffin, D. B. and Andersson, G. B. J.: 1991, Occupational biomechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Dul, J., Douwes, M., Smitt P.: 1994, Ergonomic guidelines for the prevention of discomfort of static postures based on endurance data, Ergonomics 37, 807-815.

Jonsson, B.: 1984, Muscular fatigue and endurance: basic research and ergonomic applications, In: Neural and mechanical control of movement, M. Kumanoto (Ed.), Yamaguchi Shoten, 64-76, Kyoto.

Mathiassen, S. E.: 1993, The influence of exercise/ rest schedule on the physiological and psychophysical response to isometric shoulder-neck exercise, Eur J Appl Physiol 67, 528-539.

Mital, A.: 1985, Preliminary guidelines for designing one-handed material handling tasks, J Occup Accidents 4, 33-44.

Pheasant, S.: 1986, Bodyspace, Taylor & Francis, London.

Åstrand, P.O., Rodahl, K.: 1986, Textbook of work physiology, McGraw-Hill, New York.

Hallén, K.: 2004, Maximal momentkapacitet.Technical report from Atlas Copco Tools AB, Stockholm.

Gewicht

Das Gewicht eines handgeführten Werkzeugs ist ebenfalls eine typische äußere Belastung für den Werker. Je nach Arbeitshaltung übt es unterschiedliche Drehmomente auf die Gelenke des Hand-Arm-Schulter-Systems aus. Das Risiko, arbeitsbezogene muskulo-skeletale Beschwerden zu bekommen, hängt ab von der Amplitude der Drehmomente und der Dauer der ausgeführten Tätigkeit.

Zahlreiche handgeführte Werkzeuge mit Elektro- oder Druckluftantrieb sollen den Werker entlasten. Manchmal sind die Werkzeuge jedoch schwer, insbesondere wenn steife, schwere Luftschläuche eingesetzt werden. Eine Masse von über 5 kg ist nicht ungewöhnlich. Selbst wenn solch ein Werkzeug ergonomisch optimal geführt wird, übt es immer noch ein Drehmoment auf das Schultergelenk aus. Dieses entspricht beim Mann etwa 20 % seines maximalen Kraftvermögens (20 % MWK), bei einer Frau 30 %. Die Belastung durch das Werkzeuggewicht ist also ein wichtiger ergonomischer Faktor.

Gewichtsgrenze des Werkzeugs

Pauschal lässt sich kein Grenzwert für das Werkzeuggewicht in einer bestimmten Arbeitssituation festlegen. Dennoch sollte es als äußerer Belastungsfaktor abhängig von Arbeitsbedingungen, Häufigkeit, Geschwindigkeit und Dauer der Tätigkeit begrenzt werden. Es ist zu den übrigen vertikalen Kräften zu addieren, die auf den Werker wirken.

Als Faustregel gilt: Werkzeuge mit einer Masse von mehr als 2,5 kg sollten entweder aufgehängt, durch ein Gegengewicht gekontert oder mit zwei Griffen versehen sein. Für Präzisionsarbeiten sollte die Masse unter 400 Gramm liegen. Bei Arbeiten wie etwa Bohren in Beton, sind entsprechend schwerere Werkzeuge erforderlich, um Vibrationen besser zu absorbieren und die Vorschubkraft zu erhöhen.

Gewichtsausgleich

Damit der Werker nicht die Gewichtskraft des Werkzeugs ausgleichen muss, halten Gewichtsausgleicher (sogenannte Balancer) dieses in der Schwebe. Prinzipiell gibt es zwei Typen:

Der erste Typ (RIL) erzeugt eine Hubkraft. Dabei hängt das Werkzeug an einem Drahtseil, die Arbeitshöhe lässt sich durch Verstellen einer Feder variieren. Wird das Seil ausgezogen, steigt die Hubkraft. Entsprechend wird das Werkzeug zurückgezogen.

Der zweite Typ (Colibri) besitzt eine eingebaute Seiltrommel, die die Verlängerung des Drahtseils ausgleicht. Das Werkzeug bleibt also immer genau in der Höhe hängen, in der es losgelassen wurde, ohne dass der Werker es beim nächsten Mal wieder zu sich herunterziehen muss.

Der Arbeitsbereich eines Werkzeugs wird durch einen Balancer natürlich eingeschränkt. Wichtig ist, dass die Gegenkraft richtig eingestellt ist. Andernfalls wird der Werker durch überhöhte Hubkräfte des Gewichtsausgleichers unnötig belastet. Ist in bestimmten Arbeitssituationen die Beweglichkeit eines Handwerkzeuges sehr wichtig, ist ein Balancer nicht hilfreich. In solchen Situationen sollte das Werkzeug darum nicht allzu schwer sein, um es bequem

Ein Balancer kompensiert die Gewichtskraft des Werkzeugs.

transportieren und in verschiedenen Winkeln halten zu können.

Der Schwerpunkt des Werkzeugs

Ein weiterer zum Werkzeuggewicht gehörender Aspekt ist dessen Schwerpunkt. Liegt dieser nicht nahe am Handgelenk des Werkers, wirkt auf dieses ein Kipp- oder Drehmoment. Über längere Zeit hinweg ermüdet so die Unterarmmuskulatur, das Handgelenk kann sogar verletzt werden.

Um diese Momentenbelastung zu reduzieren, darf der Schwerpunkt des Werkzeugs nie weit vom Handgelenk entfernt sein.

Zudem sollte der Schwerpunkt des Werkzeugs so nahe wie möglich am Mittelpunkt der greifenden Hand liegen, was die Griffstabilität fördert. Ein T-förmig in der Werkzeugmitte ansetzender Griff ist hier eine gute Lösung – vorausgesetzt, die benötigte Vorschubkraft ist gering.

Abb. 3.8 Liegt der Schwerpunkt des Werkzeugs nahe dem Griff, reduziert dies die Momentenbelastung des Handgelenks.

Einfluss des Werkzeuggebrauchs

Wesentlich beim statischen Aspekt des Gewichts ist das aufs Handgelenk einwirkende Kipp- oder Drehmoment, das durch die Wahl des Griffes beeinflusst werden kann.

Wird das Werkzeug bei sich wiederholenden Montageabläufen schnell bewegt, ist das gesamte Hand-Arm-System dynamisch betroffen. Allgemeinverbindliche Aussagen dazu lassen sich leider nicht machen, jeder Arbeitsplatz ist einzeln zu untersuchen.

Weitere Parameter sind etwa Leistung und Produktivität. Der Vergleich eines schweren, leistungsstarken Werkzeugs mit einem leichteren, weniger leistungsfähigen ist aber wenig hilfreich. Ist bei Druckluftwerkzeugen die Versorgungsleitung richtig dimensioniert, steht also ein hoher Fließdruck an, ist es für manche Tätigkeiten durchaus sinnvoll, mit einem leichteren Werkzeug zu arbeiten.

Wann zählt das Werkzeuggewicht?

Das Gewicht belastet den Werker vor allem dann, wenn er das Werkzeug zum Werkstück führt. Dabei dominieren jedoch häufig andere Kräfte. Wie viel Zeit benötigt wird, hängt aber von der Gestaltung des Arbeitsplatzes ab. Zudem lässt sich das Werkzeug beim Hinführen anders halten als während der eigentlichen Arbeit. Diese andere Haltung reduziert für gewöhnlich die Belastung des Hand-Arm-Systems. Beim Schleifen auf einer horizontalen Fläche sorgt das Gewicht außerdem für einen Teil der Vorschubkraft.

Beurteilung des Gewichts

Abhängig von Arbeitshaltung, Griffkonstruktion und Art der Tätigkeit wird das Gewicht des Werkzeugs vom Werker auf

unterschiedliche Weise als Belastung empfunden. Um seine Auswirkungen auf den Werker zu beurteilen, schlagen wir vor, als Parameter nur das reine Werkzeuggewicht (ohne Einsteckwerkzeuge) heranzuziehen. Meistens stimmen dann die Katalogangaben, die kein Hersteller unnötig erhöht. Denn schließlich spiegelt das Gewicht wider, wie gut der Konstrukteur gearbeitet hat.

Literatur

Chaffin, D. B. and Andersson, G. B. J.: 1991, Occupational biomechanics, John Wiley & Sons, Inc., New York.

Eastman Kodak Company: 1983, Ergonomic design for people at work, Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Kadefors, R., Areskoug, A., Dahlman, S., Kilbom, E., Sperling, L.,Wikström, L., Öster, J.: 1993, An approach to ergonomic evaluation of hand tools, Applied Ergonomics, 24, 203-211.

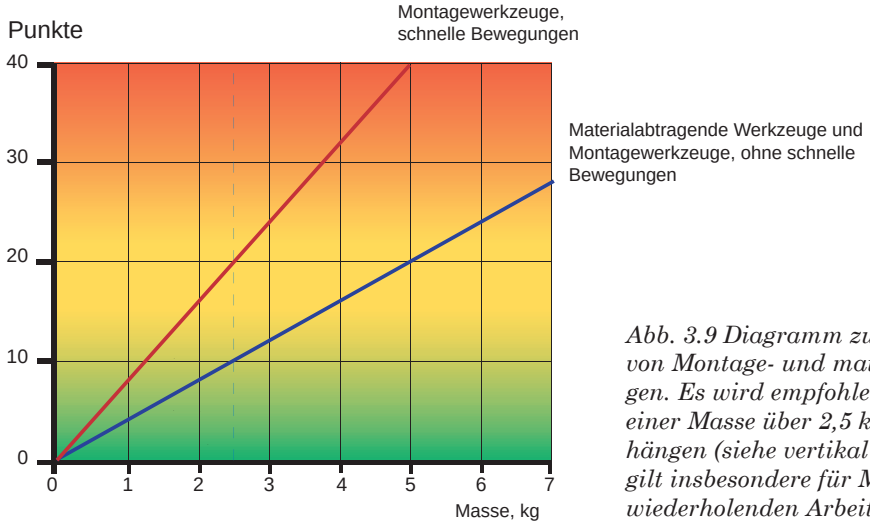


Abb. 3.9 Diagramm zur Beurteilung des Gewichts von Montage- und materialabtragenden Werkzeugen. Es wird empfohlen, schwerere Werkzeuge mit einer Masse über 2,5 kg an Balancern aufzuhängen (siehe vertikal gestrichelte Linie). Dies gilt insbesondere für Montagewerkzeuge bei sich wiederholenden Arbeiten.

Temperatur

Handgeführte Kraftwerkzeuge enthalten oft Wärme- oder Kältequellen, die sich auf die Temperatur der Werkzeugoberfläche auswirken. Berührt der Werker diese, kann das für ihn unangenehm beziehungsweise schmerzhaft sein oder sogar zu einer Verletzung führen. Der Werkzeugkonstrukteur hat die Oberflächentemperatur darum so zu begrenzen, dass davon keine gesundheitlichen Gefahren ausgehen.

Die Erforschung der physiologischen Reaktionen von Menschen, die mit heißen Oberflächen in Berührung kommen, wird in relativ großem Umfang betrieben. Darauf basierende Normen und Richtlinien über akzeptable Grenzwerte für heiße Oberflächen sind etwa die ISO-Norm 13732-1:2006 oder die Publikation des British Standards Institute PD 6504:1983.

Über die Berührung kalter Oberflächen gibt es hingegen eher wenige wissenschaftliche Untersuchungen. Verfügbare Daten liefert ISO 13732-3:2005.

Faktoren, welche die Temperaturgrenzwerte beeinflussen

Folgende Faktoren können die tolerierbaren Temperaturgrenzwerte beeinflussen:

- Die Oberflächentemperatur, das heißt die in Grad Celsius gemessene Temperatur einer Griffoberfläche.
- Die Kontaktdauer, über die hinweg die Oberfläche berührt wird.
- Die thermische Trägheit, das heißt die Kombination aus Dichte, Wärmeleitfähigkeit und spezifischer Wärmekapazität des Materials, aus dem das Werkzeug besteht. (Eine Liste der thermischen Trägheit einiger gebräuchlicher Materialien zeigt Tabelle 3.11.)
- Materialeigenschaften der Oberfläche, also die chemische/physikalische Zusammensetzung des Materials sowie Eigenschaften (rau, glatt) und Struktur der Oberfläche.

Material	Thermische Leitfähigkeit W/(m•K)
Haut	0,55
Aluminium	203
Stahl	45
Nitrile	0,15
ABS-Harze	0,18
Nylon	0,21
Acetat	0,23

Tabelle 3.11 Thermische Eigenschaften ausgewählter Materialien.

Temperaturgrenzwerte für heiße Oberflächen

Der Verbrennungsgrenzwert

In Abbildung 3.10 sind die Oberflächentemperaturen an der Schwelle zur Verbrennung gemäß der ISO-Norm 13732-1 dargestellt. Die Kurve gilt für den Kontakt mit der heißen Oberfläche eines glatten, nicht beschichteten Metalls über einen Zeitraum von 1 bis 10 Sekunden. Danach darf bei einer Berührung von 10 Sekunden Dauer die Temperatur des Metalls nicht mehr als 55 °C betragen.

Kunststoffe und Gummi können wegen ihrer schlechteren Wärmeleitung die Schwelle zur Verbrennung deutlich anheben. Tabelle 3.12 enthält die Schwellenwerte für längere Kontakte (> 1 min). Bei häufig ausgeführten, intermittierenden (Kontaktdauer > 10 min) und kontinuierlichen Tätigkeiten (Kontakt über 8 Stunden) betragen die bis zur Schwelle der Verbrennung zulässigen Temperaturen 48 °C beziehungsweise 43 °C, und zwar unabhängig von den Materialeigenschaften.

Für eine Kontaktdauer von einer Minute gilt der Wert von 51 °C übrigens auch für andere Materialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit. Der Wert von 43 °C für alle Materialien bei einer Kontaktdauer von 8 Stunden und länger gilt nur, wenn ein kleiner Teil des Körpers (weniger als 10 % der Hautfläche des Körpers) mit der heißen Oberfläche in Berührung kommt.

	Verbrennungsgrenzwert für Kontaktdauern von		
Finger	1 min	10 min	8 h und länger
	°C	°C	°C
unbeschichtetes Metall	51	48	43
beschichtetes Metall	51	48	43
Keramik, Glas und Steinmaterialien	56	48	43
Kunststoffe	60	48	43
Holz	60	48	43

Tabelle 3.12 Verbrennungsgrenzwerte für verschiedene Kontaktdauern.

Die Schmerzschwelle

Akzeptable Temperaturen bis zur Schmerzschwelle liegen weit unter den oben ange-

gebenen Verbrennungsgrenzwerten. Bei Kunststoffen und Holz betragen sie 75 % der entsprechenden Verbrennungsschwellwerte.

Für das körperliche Wohlbefinden bei längeren Arbeiten mit handgeführten Werkzeugen sollte die Schmerzschwelle das Konstruktionskriterium für akzeptable Oberflächentemperaturen sein.

Temperaturgrenzwerte für kalte Oberflächen

Die Berührung kalter Oberflächen verursacht ein Gefühl der Kälte oder des Schmerzes und kann zu Erfrierungen führen. Die Geschwindigkeit, mit der Wärme von den Fingern an die kalte Oberfläche abgegeben wird, hängt von der Oberflächentemperatur, der thermischen Trägheit des Materials, der Masse des Objektes, den Materialeigenschaften der Oberfläche, dem Kontaktdruck sowie dem Feuchtigkeitsgehalt der Haut ab.

Der theoretische Gefrierpunkt für eine potenziell durch Kälte verursachte Verletzung ist – 0,6 °C. Ein Abkühlen der Hauttemperatur auf 0 °C sollte vermieden werden. Oberflächentemperatur, Berührungsdauer, Griffmaterialien und Oberflächenbeschaffenheit bieten konstruktive Ansatzpunkte.

Die Hauttemperatur sinkt bei Männern schneller als bei Frauen. Bei sehr niedrigen Temperaturen kann es bis zur Wahrnehmung eines Schmerzes länger dauern, als bis zur Abkühlung auf 0 °C. Konstruktionskriterien für kalte Oberflächen lassen sich deshalb nicht am subjektiven Schmerzempfinden der Werker ausrichten.

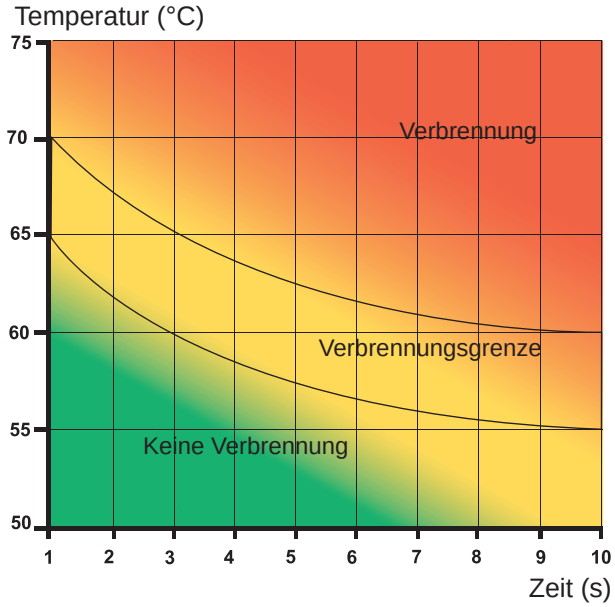


Abb. 3.10 Verlauf der Grenze zur Verbrennung für den Kontakt der Haut mit einer heißen, glatten und unbeschichteten Metall-Oberfläche (nach ISO 13732-1:2006).

Die Oberflächentemperatur eines Werkzeuggriffs aus Metall sollte nicht weniger als 4 °C betragen, wenn kontinuierlich damit gearbeitet wird. Niedrigere Temperaturen verlangen den Einsatz isolierter Griffe oder das Tragen von Schutzhandschuhen. Isolierende Materialien wie Kunststoff oder Holz können das Abkühlen der Haut erheblich verzögern.

Beurteilung der Temperatur

4 °C werden als niedrigste zulässige Temperatur festgelegt, als höchste die Verbrennungsgrenze bei einer Kontaktzeit von 10 Minuten (48 °C). Dazwischen liegt der Gewichtungsfaktor bei 20, wenn der Verbrennungsschwellwert erreicht und überschritten wird.

Materialabtragende Werkzeuge

Die Temperaturbeurteilung dieser Werkzeuge geht von der niedrigsten oder höchsten Temperatur aus, die sich an der Griffoberfläche einstellt, wenn die Maschine in einer Bremsvorrichtung im Labor mit 50 % ihrer Höchstleistung läuft. Bei der Messung sollte der Griff nicht festgehalten werden.

Die Eigenschaften der Griffoberfläche beeinflussen die Temperatur und ihre Wahrnehmung durch den Werker stark. Ein sinnvoller Vergleich verschiedener Maschinen ist deshalb nur möglich, wenn die Griffoberflächen ähnlich sind.

Die Entscheidung, die Maschine nur zu 50 % zu belasten, ist fraglich. Denn die Temperatur einer Schleifmaschine, die von einem Lamellenmotor angetrieben wird, steigt aufgrund der Reibung zwischen den Lamellen und der Zylinderwand auch im Leerlauf. Dagegen fällt sie, wenn die Maschine unter Last läuft, weil dann mehr Druckluft expandiert. In der Praxis gibt es große Schwankungen der Leistungsaufnahme und somit der Temperatur.

Schlagende Werkzeuge werden in einer energieabsorbierenden Vorrichtung getestet. Die Folge von Starts und Stopps lässt sich aus der bekannten oder angenommenen durchschnittlichen Einsatzdauer des Werkzeugs pro Tag herleiten.

Montagewerkzeuge

Ein Schraubwerkzeug ist oft nur wenige Sekunden im Einsatz. Seine Temperatur ist daher nur selten ein Problem, es sei denn, es wird bei kurzen Taktzeiten oder langen Schraubzyklen sehr häufig benutzt. Tests erfolgen an einem weichen Schraubfall mit dem maximalen Drehmoment, die Häufigkeit ist entweder bekannt oder wird angenommen.

Literatur

International Standard: ISO 13732-1:2006 und ISO 13732-3:2005.

British Standards Institution (BSI): 1983, Medical information on human reaction to skin contact with hot surfaces, PD 6504.

Eastman Kodak Company: 1983, Ergonomic design for people at work, Van Nostrand Reinhold Company, New York, Vol. 1.

Chen, F., Nilsson H., Holmer, I.: 1994, Cooling responses of finger in contact with an aluminum surface, Am Ind Hyg Assoc J 55: 218-222.

Chen, F., Nilsson H., Holmer, I.: 1994, Finger cooling by contact with cold aluminium surfaces – effects of pressure, mass and whole body thermal balance, Eur J Appl Physiol 69: 55-60.

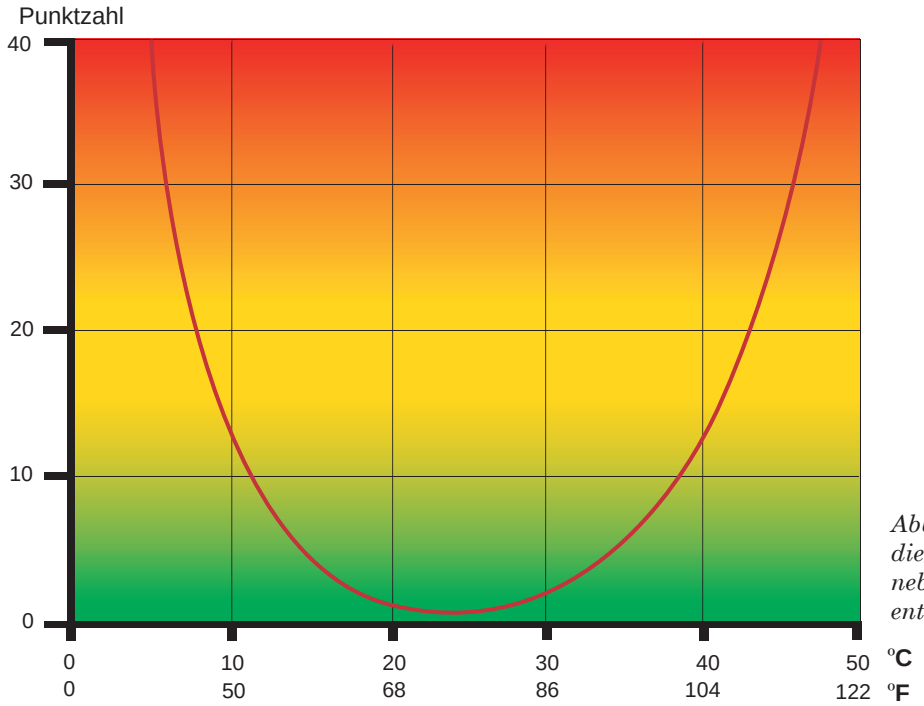


Abb. 3.11 Die Punktzahl für die Temperatur lässt sich dem nebenstehenden Diagramm entnehmen.

Reaktionskräfte

Ist der Werker extrem kurzzeitig äußeren Belastungen ausgesetzt, spricht man von Reaktionskräften. Vor allem Winkel- und Drehschrauber erzeugen solche Kräfte, in erster Linie das Reaktionsmoment. Auch bei Bohrmaschinen gibt es den für das Reaktionsmoment typischen Ruck, wenn der Bohrer das Werkstück durchbricht. Ist der Werker nicht vorbereitet, kann er abrutschen, seine Finger quetschen oder einen Schlag abbekommen.

Schnelle Bewegungen des Hand-Arm-Systems werden als Ruck wahrgenommen.

Was ist ein Ruck?

Der Ruck und seine Auswirkungen ereignen sich in sehr kurzer Zeit. Ereignisse, deren Dauer weniger als 300 ms beträgt, werden als Ruck definiert. Innerhalb einer so kurzen Zeit kann der Werker den Ablauf der Ereignisse nicht beeinflussen. Dauert ein Anziehzyklus länger, tritt auch ein Ruck auf. Allerdings lässt sich der mit den im Abschnitt „Äußere Belastungen“ beschriebenen Methoden abfangen. Das Hand-Arm-System kann als passives Masse-Feder-System und insbesondere als eine Masse betrachtet werden. Je kürzer der Ruck, desto geringer sind die Rückwirkungen auf das Werkzeug und das Hand-Arm-System. Wird die Dauer dieses ruckartigen Stoßes allmählich verlängert, nimmt auch die Reaktion zu.

Abhängig von den dynamischen Eigenschaften des Werkzeugs und des Hand-Arm-Systems können sich die Reaktionskräfte auch aufschaukeln. Das sollte man tunlichst vermeiden.

Wie können wir die Dauer eines Rucks beeinflussen?

Bei einem Winkelschrauber hängt beispielsweise die Dauer des Rucks von der Härte der Verbindung, der Drehzahl des Werkzeugs, der Leistung seines Motors und der Methode ab, mit der das Werkzeug nach Beendigung des Anziehvorgangs abschaltet.

Die Verbindung

Eine Verbindung ist hart, wenn das Endmoment nach einem Drehwinkel von weniger als 60 Grad nach Kopfauflage der Schraube erreicht wird. Etwa dann, wenn man ein dünnes Blech mit einer Schraube an einem anderen Metallteil befestigt. Die Schraube längt sich dabei nur sehr geringfügig. Bei einem Drehwinkel von 700 und mehr Grad ist der Schraubfall weich, wie etwa bei einer Schlauchschelle. Da die Reaktionskräfte umso geringer sind, je kürzer der Ruck oder Stoß ist, dürfte es eigentlich nur harte Schraubverbindungen geben. Aber weiche halten die Klemmkraft zuverlässiger, selbst nach vielen Lastwechseln. Und darauf kommt es schließlich an.

Drehzahl

Drehmoment und Motordrehzahl bestimmen die Drehzahl der Abtriebsspindel. Die maximale Drehzahl kann auch durch die Schraubverbindung selbst begrenzt werden, wenn sich diese ansonsten zu stark erwärmt. Kritisch ist auch das Überschießen, nachdem das endgültige Anzugsmoment erreicht ist. Dieses wird zusätzlich durch die Abschaltgeschwindigkeit der Kupplung begrenzt, im Falle des elektrischen Schraubers von der Fähigkeit des Systems, den Anziehvorgang zu kontrollieren.

Motorleistung

Ein leistungsstarker Motor hält die Drehzahl bis zum Ende des Anziehvorgangs und sorgt so für eine möglichst kurze Schraubzeit. Allerdings: Wird ein noch größerer Motor genommen, steigt das Werkzeuggewicht.

Abschaltmethode

Je schneller der Abschaltvorgang, desto geringer ist das zu verkraftende Reaktionsmoment.

Zusammenfassung

Alle vorgenannten Faktoren beeinflussen die Dauer des Rucks. Wird das Drehmoment eines Anziehvorgangs als eine Funktion über der Zeit untersucht, stellen wir fest: je kleiner die Fläche unter der Kurve, desto

geringer der Impuls, und das Reaktionsmoment sinkt.

Auf ein mechanisches System wirkende Stöße

Werkzeug und Hand-Arm-System können als mechanisches System betrachtet werden. Die Theorie von Vibrationen und Stößen besagt: Die Reaktion eines mechanischen Systems, das einem Ruck oder Stoß ausgesetzt wird, hängt ab von der Dauer des Impulses und der Eigenfrequenz des Werkzeug-Hand-Arm-Systems. Letztere wird von der Haltung der Hand bestimmt und steht damit in enger Beziehung zur Gestaltung des Arbeitsplatzes.

Die Reaktion

Stoß beziehungsweise Ruck verursachen eine Bewegung des Werkzeuggriffs. Deren Amplitude kann als Reaktion definiert werden. Die subjektive Wahrnehmung dieser Stoßreaktion durch den Werker ist eng damit verknüpft, wie heftig sich der Griff bewegt. Der Versatz des Griffs beim Schrauben ist ein Maß dafür, lässt sich aber schwer messen.

Internationale Norm

Eine weitere Methode zur Quantifizierung der Reaktionskräfte schlägt die Norm ISO 6544 von 1981 vor. Danach wird das Werkzeug so gehalten, dass sein Griff an einem Anschlag anliegt. Ein zwischengeschalteter Messwertgeber misst das Drehmoment beim Anziehen. Der Impuls verschiedener Verbindungen errechnet sich dann aus dem Integral des Drehmomentsignals über der Zeit. Unberücksichtigt bleiben aber die dynamischen Eigenschaften sowohl des Werkzeugs als auch des Werkers.

Werkzeugkonstruktion

Die Entwicklung von Winkelschraubern folgte für Druckluft- und Elektroschrauber verschiedenen Wegen. Bei den druckluftgetriebenen Werkzeugen läuft das Konstruktionskonzept auf die Minimierung des Impulses hinaus, abhängig vor allem von der Kupplung. Druckluft-Winkelschrauber haben überaus schnelle Kupplungen, die bei Erreichen des voreingestellten Drehmoments den Motor innerhalb von 3,5 ms ausrücken. Das verbessert die Genauigkeit des Werkzeugs, und der Impulsanteil, der beim Ausrücken entsteht, bleibt gering.

In der Praxis bedeutet das bei harten Verbindungen: Der Werker kann das Werkzeug zwischen Daumen und Zeigefinger halten und verspürt dennoch keinen Ruck, weil dieser von der Trägheit des Werkzeuges absorbiert wird. Bei weicheren Verbindungen dauert es länger, das Drehmo-

Eine hohe Motorleistung und schnelle Kupplungen sind die Voraussetzungen, um den Ruck an Winkelschraubern zu reduzieren.

ment aufzubauen, der Impuls wächst. Das Werkzeug beginnt, sich zu verdrehen. Der Werker muss am Griff also eine Gegenkraft aufbringen, die er als Reaktionsmoment empfindet.

Je schneller eine Kupplung arbeitet, um so weicher können die Verbindungen sein, die ohne übermäßiges Reaktionsmoment angezogen werden können. Bei weicheren Verbindungen kann das Reaktionsmoment dennoch unangenehm werden, vor allem wenn die Anziehdauer 300 ms überschreitet. Dann hat der Werker aber Zeit genug, seine Gegenkraft auf den Griff abzustimmen.

Die Entwicklung elektrisch angetriebener Winkelschrauber hat einen anderen Weg genommen. Diese lassen sich präzise elektronisch steuern. Eine Änderung der Motordrehzahl verändert auch die Art und Weise, wie eine Verbindung vom Werker empfunden wird. Tatsächlich können unterschiedlich harte Verbindungen als gleich empfunden werden, jeder Werker kann die für ihn optimale Regelung der Drehzahl wählen. Das Steuerungssystem eines Schraubers lässt sich so für verschiedene Werker programmieren. Jeder wählt über einen Code seine Einstellungen.

Beurteilung von Reaktionskräften

Für die Beurteilung von Reaktionskräften gibt es keine Normen. Die Norm ISO 6544 beschreibt nur ein Verfahren zur Messung des Impulses bei einer Maschine mit Stützgriff. Noch wissen wir nicht, wie häufig sich ein Werker Reaktionskräften aussetzen kann, bis ein gesundheitliches Risiko gegeben ist.

Die Reaktionskräfte hängen vom Impuls ab, der bei der Anziehsequenz auf die Maschine übertragen wird. Da jedes Werkzeug einen gewissen Drehmomentbereich hat, sind die Reaktionskräfte je nach Drehmomenteinstellung bei derselben Verbindung unterschiedlich. Die subjektive Wahrnehmung variiert auch mit der jeweiligen Arbeitshaltung. Beurteilungsverfahren für die Praxis müssen aber sehr einfach sein. Wir schlagen vor, den Skalierungsfaktor direkt proportional zu dem gemäß ISO 6544 für die harte Verbindung gemessenen Impuls anzuwenden.

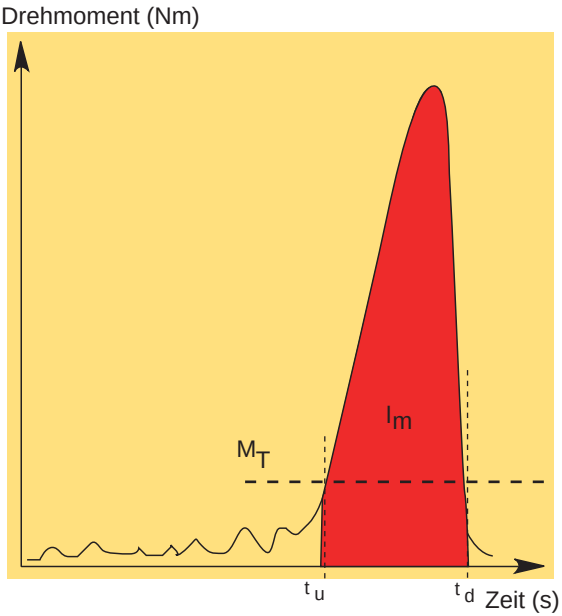


Abb. 3.12 Eine typische Anziehsequenz. Die Fläche unter der Kurve stellt den Impuls dar.

Denn in den meisten Fällen wird für die in der Norm erwähnten weichen Verbindungen eine Anziehdauer von mehr als 300 ms genannt. Nach unserer Definition kommt es dann aber nicht mehr zu einer Ruck- oder Stoßbelastung. Zudem ist die verfügbare Datenmenge für harte Verbindungen größer. Viele Hersteller und Anwender haben mit solchen Verbindungen zu tun.

Zu beachten ist aber: Der Werker empfindet den Ruck umso nachteiliger, je weicher die Verbindung ist. Mittelweiche Verbindungen sind dagegen wieder angenehmer. Messen wir das Reaktionsverhalten eines Werkzeugs also nur an einer harten Verbindung, ist es kaum möglich, den für die jeweilige Drehmomenteinstellung ungünstigsten Schraubfall zu finden. Vergleicht man jedoch verschiedene Werkzeuge an unterschiedlich harten Verbindungen, wird immer dasjenige mit dem schwächsten Impuls bevorzugt werden.

Die Beurteilung der Reaktionskräfte erfolgt anhand dreier Funktionen: einer für Werkzeuge

mit Stabgriff, einer für Werkzeuge mit Pistolengriff und einer für Winkelschrauber.

Ein Messwertgeber misst das tatsächliche Drehmoment beim Anziehen. Um die an der Hand des Werkers wirkende Kraft zu ermitteln, wird der Drehmomentwert geteilt: beim Stabgriff durch dessen Durchmesser, beim Pistolengriff oder Winkelschrauber durch die effektive Länge des Werkzeuges (vom Griff- zum Spindelmittelpunkt). Das Integral der Kraft über der Zeit liefert den Impuls in Ns, mit dem sich über die Beurteilungskurve die Punktzahl ermitteln lässt.

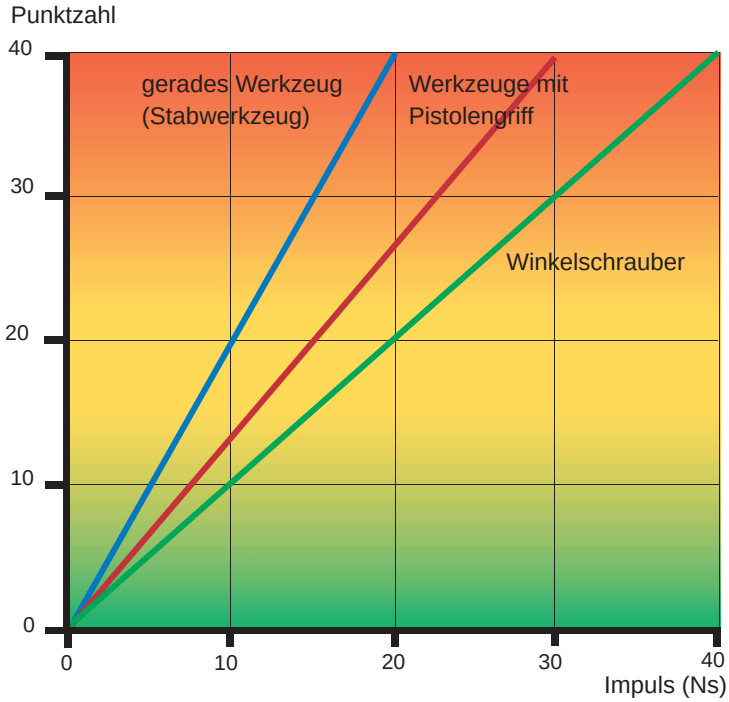


Abb. 3.13 Punktzahl für die Ruckbelastung von Stab-, Pistolengriff- und Winkelschraubern.

Literatur

ISO 5393 Rotary tools for threaded fasteners – Performance test method.

ISO 6544 Hand-held pneumatic assembly tools for installing threaded fasteners – Reaction torque and torque impulse measurements.

Bo Lindqvist: 1993, Torque reaction in angled nutrunners, Applied Ergonomics, 24 (3) 174-180.

Vibrationen

Alle Maschinen vibrieren ein wenig. Bei den Werkern führen starke Vibrationen zu gesundheitlichen Schäden. Konstruktionsabhängig können diese Schwingungen auch Fehlfunktionen der Werkzeuge verursachen bis hin zur Beschädigung. Wie stark die Vibrationen bei Kraftwerkzeugen sind, bestimmen die Beschleunigungskräfte, die auf die Maschinenmasse wirken, die Anregung von Resonanzfrequenzen der Maschinenteile sowie die Vibrationen, die beim Arbeiten selbst entstehen.

Was sind Vibrationen?

Oszillierende Bewegungen eines Objektes, erzeugt von Kräften, die darauf einwirken, bezeichnen wir als Vibrationen. Diese Hin- und Herbewegungen können sich zwar an einer Achse ausrichten, haben in den meisten Fällen jedoch ein recht komplexes Bewegungsmuster. Häufig werden drei Achsen benötigt, mitunter auch noch Rotationsachsen, um die Bewegung in verschiedenen Richtungen zu beschreiben.

Stimmt die Frequenz der oszillierenden Kraft mit der Resonanzfrequenz eines Werkzeugteils überein, verstärkt das die Amplitude. Maschinenteile wie etwa Griffe können als Masse-Feder-Systeme mit jeweils eigenen Resonanzfrequenzen betrachtet werden.

Wie werden Vibrationen gemessen?

Meist dient die Beschleunigung als Variable, um die Bewegung zu beschreiben. Einmal integriert ergibt sich die Geschwindigkeit, woraus sich durch nochmalige Integration die Amplitude berechnen lässt.

Die Beschleunigung ist ein eher abstrakter Parameter. Doch gibt es eine Reihe von Gründen, warum sich diese Methode zu der am häufigsten verwendeten entwickelt hat.

Der gebräuchlichste Messwertgeber ist ein piezoelektrischer Beschleunigungsmesser. Dieser enthält eine Masse, die durch eine Feder gegen einen piezoelektrischen

Kristall vorgespannt ist. Wird der Geber beschleunigt, wirkt die Masse mit einer Kraft auf den Kristall, die proportional zur Beschleunigung ist. Der Kristall sendet daraufhin eine Ladung aus, die sich wiederum proportional zur Kraft und damit zur Beschleunigung verhält. Dieses Signal lässt sich verstärken und zur Auswertung in einen Rechner einspeisen.

Werden Vibrationen an einem handgeführten Kraftwerkzeug mit komplexem Bewegungsverlauf gemessen, beeinflusst die Lage des Messwertgebers erheblich das Resultat. Manchmal – vornehmlich in der Literatur, die sich mit Belastungsmessungen befasst – heißt es, der Messwertgeber solle dort an der Maschine befestigt sein, wo der Werker seine Hände hat.

Betrachten wir dazu eine Schleifmaschine: Jede Position am Griff führt zu anderen Messergebnissen. Bei manchen Maschinen unterscheiden sich der niedrigste und der höchste Messwert um den Faktor fünf, manchmal sogar um mehr. Für den Ergonomen ist es interessant, den Punkt mit dem höchsten Vibrationswert zu finden.

Die genannten Empfehlungen gelten im Hinblick auf eine Risikoeinschätzung.

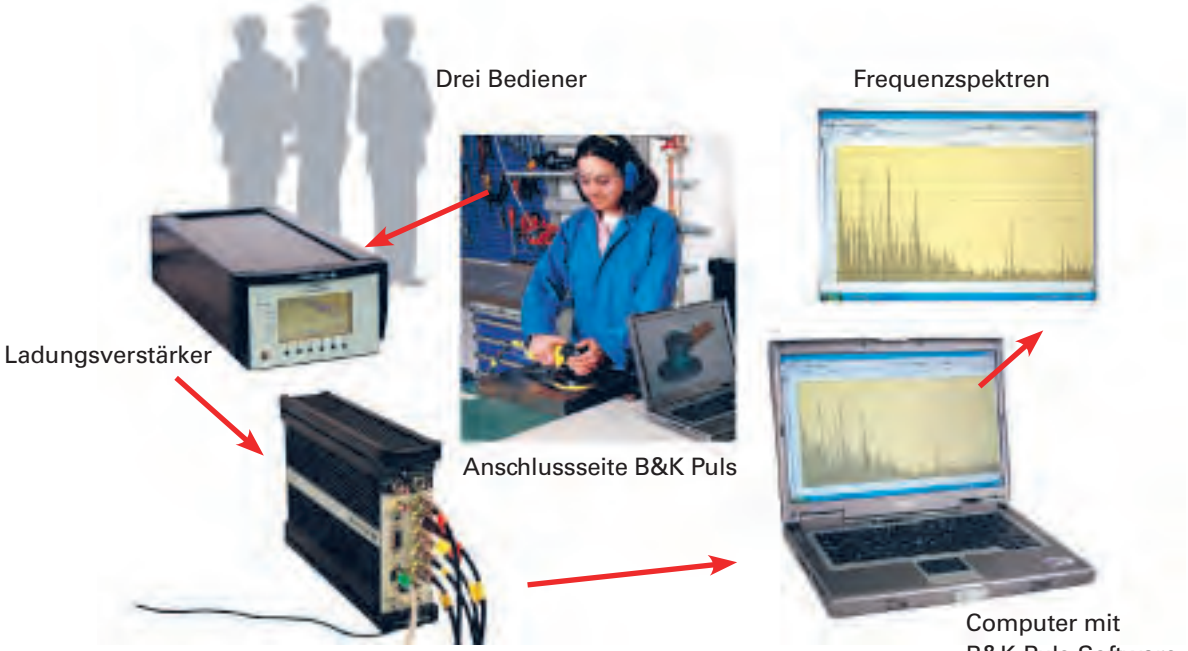


Abb. 3.14 Durchführung von Labormessungen gemäß EN ISO 8662.

Solche Messergebnisse lassen sich aber nicht reproduzieren, und es ist sinnlos, Messungen unter verschiedenen Bedingungen miteinander zu vergleichen.

Messnormen

Es gibt zwei Gruppen von Messnormen: eine, um die Belastung des Werkers zu messen, und eine für Laborzwecke. Diese Normen dienen unterschiedlichen Zielen. Werden Laborergebnisse dazu verwendet, das Gesundheitsrisiko einzuschätzen, ist Vorsicht geboten. Nähere Angaben siehe weiter unten unter „Beurteilung der Vibrationen“.

Belastungsnormen

ISO 5349 stellt Dosis und Wirkung zueinander in Beziehung. Diese Norm enthält außerdem einen Gewichtungsfilter, sowohl für Belastungs- als auch für Labormessungen. Dieser Filter bewirkt eine Dämpfung von 6 dB/Oktave ab 16 Hz. Das unter Verwendung dieses Filters erzielte Ergebnis ist ein gewichteter Beschleunigungswert, ausgedrückt in m/s^2.

Bei der Definition des Filters ging man davon aus, dass die vom Griff auf die Hand des Werkers übertragene Energie ein Hauptfaktor für vibrationsbedingte Erkrankungen sei. EN ISO 5349-2 gibt Leitlinien zur Durchführung der Messungen in einer realen Arbeitssituation.

Labornormen

EN ISO 8662 bietet Hinweise für Labormessungen an verschiedenen handgeführten Kraftwerkzeugen, die nicht elektrisch angetrieben sind. Labor-Vibrationsmessungen für elektrische Werkzeuge werden in den allgemeinen Sicherheitsnormen EN 50144 und EN 60745 beschrieben.

Sowohl die EN ISO 8662 als auch die EN 50144 werden derzeit (Stand: Januar 2008) überarbeitet. Jeder fertig überarbeitete Abschnitt der EN 50144 wird in die EN 60745 verschoben, der EN ISO 8662 in die neue

Mit moderner Messausrüstung lassen sich Mehrkanal-Vibrationsmessungen durchführen, um das dynamische Verhalten eines Werkzeugs besser zu verstehen.

Normenserie ISO 28927. Die Überarbeitungen richten sich nach der am 15. Januar 2005 veröffentlichten neuen ISO 20643.

Die wichtigsten neuen Vorschriften der ISO 20643 sind: Messungen in allen drei Richtungen und die so erzielten Messwerte müssen typische Werte widerspiegeln, die während des tatsächlichen Gebrauchs erzielt werden. Um vergleichbare Resultate verschiedener Labore oder unterschiedlicher Werkzeugkonstruktionen zu erhalten, ist die Norm auf Reproduzierbarkeit ausgelegt. Dazu werden die meisten Maschinen künstlich so belastet, dass sich für den normalen Gebrauch typische Vibrationswerte ergeben. Bei dem Laborwert handelt es sich um den gemittelten Effektivwert gemäß ISO 5349, drei erfahrene Werker benutzen das Werkzeug bei den Messungen.

Angabe der Vibrationsemissionswerte

Gemäß der europäischen Maschinenrichtlinie (2006/42/EG) sind Vibrationsemissionswerte anzugeben, entsprechend der EN 292 „Maschinensicherheit“. Der Vibrationsemissionswert muss in dem mitgelieferten Handbuch angegeben werden. Liegt dieser unter 2,5 m/s^2, so reicht diese Angabe. Über 2,5 m/s^2 muss der tatsächliche Wert angegeben werden.

Vibrationsbelastung

Im März 2007 trat in Deutschland die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, basierend auf der Direktive 2002/44/EG, der sogenannten EU-Richtlinie gegen physikalische Einwirkungen (Vibrationen), in Kraft. Sie fordert vom Arbeitgeber die Überwachung der Vibrationsbelastungen, denen seine Angestellten ausgesetzt sind.

Vorgegeben sind ein Auslösewert und ein Grenzwert für die Belastung durch Hand-Arm-Vibrationen. Beide Werte sind auf einen 8-Stunden-Arbeitstag normiert. Oberhalb des Auslösewertes von 2,5 m/s^2 muss ein Arbeitgeber aktiv werden und die Belastung reduzieren. Werte oberhalb des Grenzwertes von 5 m/s^2 sind nicht zulässig. Sobald der Grenzwert überschritten wird, darf nicht weitergearbeitet werden.

Der auf einen 8-stündigen Arbeitstag normierte Belastungswert darf nicht mit dem Emissionswert von 2,5 m/s^2 verwechselt werden, oberhalb dessen ein Werkzeughersteller den genauen Vibrationsemissionswert angeben muss. Nähere Informationen dazu enthält das Atlas-Copco-Taschenbuch „Vibrationen und deren Bewertung bei Handwerkzeugen“.

Vibrationskontrolle

Kraftwerkzeugkonstruktionen berücksichtigen viele Parameter. Die gewählte Lösung spiegelt das Geschick des Konstrukteurs wider, den optimalen Kompromiss zu finden – auch hinsichtlich der Vibrationen.

Das Auftreten oszillierender Kräfte

Diese Kräfte können ihren Ursprung im Werkzeug selbst, im Einsteckwerkzeug oder im Arbeitsprozess haben. Typische Beispiele für Werkzeuge mit einer „eingebauten" Quelle sind schlagende Werkzeuge, bei denen sich ein Kolben in einem Zylinder vor und zurück bewegt. Während Druckluft den Kolben antreibt, wirkt auf das Maschinengehäuse die Gegenkraft, die Vibrationen verursacht.

Weitere Beispiele für Vibrationsquellen sind sich drehende, nicht ausgewuchtete Komponenten im Werkzeuginneren, etwa schlecht konstruierte Zahnräder oder falsch bemessene Gegengewichte bei Schwingschleifern.

Konstruktiv sind oszillierende Kräfte von vornherein auszuschalten oder auszugleichen, auch wenn sie nicht unbedingt sehr groß sind. Eine Kraft von einigen Newton genügt bereits, um unerträgliche Vibrationen im Maschinengehäuse und am Griff zu erzeugen.

Auch die Unwucht von Einsteck- oder Aufsteckwerkzeugen kann Vibrationen verursachen. So sind Unwuchten der Schleifscheibe die Hauptursache für Vibrationen bei Schleifmaschinen. Entscheidend sind die Qualität der Schleifscheibe und deren präziser Sitz auf der Werkzeugspindel.

Schlecht ausgewuchtete Schleifscheiben sind eine der Hauptquellen von Vibrationen.

Da die Toleranzen des Lochs in der Schleifscheibenmitte größer sind als die der Spindel, lassen sich Vibrationen mit präziser gefertigten Schleifscheiben verringern.

Manche Vibrationen resultieren aus dem Arbeitsvorgang selbst. Ein schlagendes Werkzeug wie ein Niethammer lässt das

Werkstück vibrieren, was auf das Werkzeug zurückwirkt.

Konstruktive Maßnahmen zur Verringerung oszillierender Kräfte

Es ist wichtig, oszillierende Kräfte bereits konstruktiv zu vermeiden. Im folgenden Beispiel geht es um die Konstruktion eines Schlackenhammers zur Entfernung von Schweißschlacke. Dafür muss sich ein Kolben im Werkzeug vor und zurück bewegen. Der Konstrukteur versucht nun, mit zwei einander gegenüberliegenden Massen die sich ergebenden Kräfte gegenseitig aufzuheben. Zusätzlich ruhen die Massen auf Federn im Maschinengehäuse.

Wird der Regler betätigt, füllt sich der Raum zwischen den beiden Massen mit Druckluft. Der auf die hintere Masse wirkende Druck erzeugt eine Kraft, die diese nach hinten beschleunigt. In derselben Weise wird die vordere Masse nach vorn getrieben. Die Amplitude der beiden Massen hängt ab von der auf sie einwirkenden Federkraft und ihrer Trägheit.

Wie in Abbildung 3.15 gezeigt, ist die hintere Masse größer als die vordere. Dadurch hat die vordere Masse eine größere Amplitude als die hintere. Die hintere Masse bildet einen Zylinder für die vordere, und im vorderen Teil dieses Zylinders befinden sich Auslässe. Bewegt sich die vordere Masse nach vorne, wird die Druckluft abgelassen, sobald die Masse die ersten dieser Auslässe erreicht. Gleichzeitig wird der Druckluftzufluss in diesen Raum reduziert. Durch die Federkraft beginnen sich nun die beiden Massen aufeinander zu zu beschleunigen. Der Zwischenraum ist abgedichtet. Der Luftdruck steigt wieder, und der Zyklus beginnt von vorn. Federkräfte, Massen und Grad der Drosselung sind so zu berechnen, dass die auf das Gehäuse wirkende Federkraft minimal wird. Der Vibrationsnennwert liegt unter 2,5 sm/s^2.

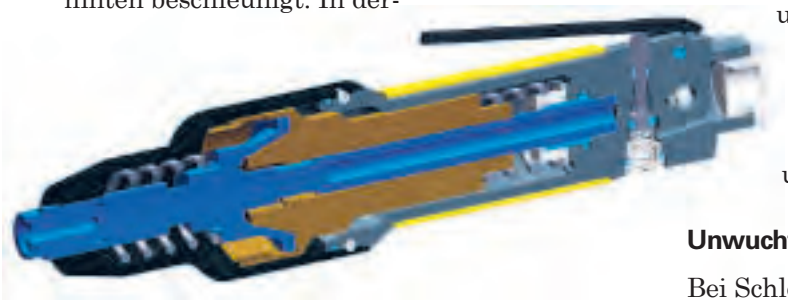


Abb. 3.15 Zwei gegenläufige Massen reduzieren die auf das Gehäuse wirkende oszillierende Kraft und somit Vibrationen.

Unwuchten

Bei Schleifmaschinen ist die Schleifscheibe mit ihren Unwuchten die dominierende Quelle für Vibrationen. Zur Kompensation wurde eine sich ständig selbst nachwuchten-

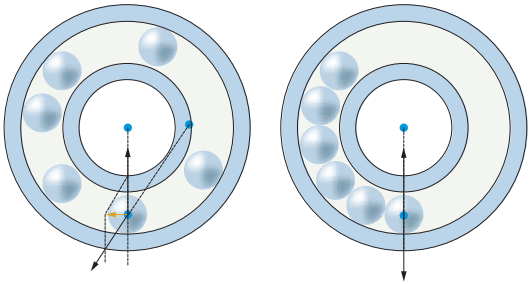


Abb. 3.16 Der Autobalancer gleicht Unwuchten einer Schleifscheibe automatisch durch sich im Ölbad bewegende Stahlkugeln aus.

de Vorrichtung entwickelt. Sie besteht aus einigen Stahlkugeln, die sich frei in einer Nut bewegen können. Diese ist in den hinteren Flansch integriert, ihre Mittelachse deckt sich mit der Mittelachse der Spindel.

Eine unwuchtige Schleifscheibe versucht stets, den Mittelpunkt der Rotation von der Mittelachse weg zu bewegen. Wenn das passiert, bewegen sich die Kugeln in der Nut in die entgegengesetzte Richtung und gleichen dadurch die Unwucht aus. Das erfolgt im Bruchteil einer Sekunde. Ändert sich die Unwucht, nehmen die Kugeln sofort neue Positionen ein.

Obwohl sich dadurch die Unwucht kompensieren lässt, wirken immer noch Schwingkräfte auf die Maschine. Denn die Kugeln können sich konstruktionsbedingt nicht in derselben Ebene befinden wie die Unwucht.

Die Resonanzfrequenz eines handgehaltenen Maschinensystems liegt übrigens bei etwa 15 Hz. Daher überschreitet die Frequenz der oszillierenden Kräfte bei laufender Maschine stets den kritischen Wert.

Was tun gegen die verbleibenden Kräfte?

Zwei Möglichkeiten bleiben dem Konstrukteur: Entweder er macht das der Bewegung entgegenwirkende Trägheitsmoment so groß wie möglich oder er entkoppelt (isoliert) die Griffe von der Maschine.

Erhöhung des Trägheitsmoments

Der Schwerpunkt des Werkzeugs sollte nahe der Schleifscheibe liegen. In der Nähe der Schleifscheibe befindet sich auch die Schutzhaube. Weil deren Masse relativ weit entfernt vom Schwerpunkt liegt, ist das Trägheitsmoment hoch.

Bei der Konstruktion der Schutzhaube wird darauf geachtet, dass sie sich sicher an der Maschine befestigen lässt und so starr ist, dass ihre Resonanzfrequenz über der Rotationsfrequenz der Maschine liegt. Eine Gleichphasigkeit würde sonst die Schwingungen verstärken. Gleichzeitig muss der Werker die Stellung der Schutzhaube leicht verändern können. Bei der Turboschleifmaschine GTG 40 wird die Schutzhaube etwa bei laufender Maschine durch die Druckluft verriegelt.

Bei unseren Simulationen ergab sich, dass ein starrer Stützgriff mit einer Masse am Ende ebenfalls das Trägheitsmoment erhöhen kann. Hingegen verursachte eine zu große Masse am Griffende mehr Vibrationen am Startergriff. Die Alternative, den Stützgriff vom Maschinengehäuse zu entkoppeln, wurde ebenfalls in Betracht gezogen.

Isolierung zwischen Vibrationsquelle und Hand

Gebräuchlich ist die Entkoppelung der Griffe durch ein Masse-Feder-System. Dazu lassen sich zwei Fälle untersuchen: der eine mit einer dominierenden Vibrationsrichtung und der andere mit einem komplexen Vibrationsmuster in drei Richtungen und zusätzlichen Rotationsbewegungen.

Konstruktiv lässt sich der Stützgriff durch ein Federelement zwischen Maschinenkörper und Griff entkoppeln. Der Griff selbst bildet dann die Masse. Dynamisch betrachtet, werden dadurch Gewicht und Trägheitsmoment des Griffs von der Maschine getrennt. Aber es verschiebt sich auch das Rotationszentrum des kombinierten Systems und, was noch wichtiger ist, der positive Effekt durch das Trägheitsmoment des Griffs verschwindet. Daher vibriert die Maschine stärker als zuvor.

Diesen Effekt kann man nur bei laufender Maschine untersuchen. Dazu werden Vibrationen an verschiedenen Punkten gemessen. Anhand dieser Daten erstellt man dann eine Computeranimation der Werkzeuggeometrie. Dabei wird die Bewegung des Werkzeugs so sehr verstärkt, dass sich die Bewegungen zwischen einzelnen Maschinenteilen untersuchen lassen. Dabei zeigt sich, dass Griff und Maschine nicht mehr phasengleich schwingen. Durch die dynamische Entkoppelung des Stützgriffes nehmen also die Vibrationen sogar noch zu. Man sieht: Es müssen immer die dynamischen Eigenschaften von Maschine und Griff untersucht werden, um zu vermeiden, dass die Resonanzfrequenz des Gesamtsystems mit der Rotationsfrequenz der Maschine übereinstimmt.

Ob aus Sicht der Arbeitsmedizin ein starrer oder ein entkoppelter Griff besser wäre, bleibt eine interessante Frage. Jedenfalls ist es falsch, zu behaupten, ein Griffüberzug aus viskoelastischem Material würde Vibrationen verringern. Denn diese Überzüge dämpfen lediglich Frequenzen oberhalb von 300 Hz. Der größte Teil der Vibrationsenergie im Griff entsteht jedoch bei niedrigeren Frequenzen.

Wie weit soll man gehen?
Das Ergebnis derartiger Messungen sind Schleifer mit Vibrationspegeln unter 1,5 m/s^2.

Schleifmaschinen mit schweren starren Stützgriffen kommen sogar an Werte von 0,5 m/s² heran. Wir entschlossen uns dennoch, diese Maschine mit einem leichteren Kunststoffgriff auszustatten, wodurch sie 400 g leichter ist.

Entkoppelung von Vibrationen einer vorherrschenden Richtung

Bei der vibrationsdämpfenden Konstruktion eines schlagenden Werkzeugs, dessen Schwingungen vornehmlich in eine Richtung gehen, benötigt man ein Dämpfungssystem, das hohe Vorschubkräfte über ein weiches Masse-Feder-System überträgt.

Die in die Maschine eingebaute Entkoppelung muss ebenfalls weich sein. Da die Schlagfrequenz bei diesen Werkzeugen häufig bei etwa 30 Hz liegt, muss das Entkoppelungssystem eine deutlich niedrigere Eigenfrequenz haben. Da sich die Masse der Maschine ohne gleichzeitige Nachteile für die Konstruktion kaum steigern lässt, muss die Feder weich sein.

Das Atlas-Copco-Dämpfungssystem, das in den Niethämmern der Bauart RRH verwendet wird, erfüllt beide Aufgaben. Es fungiert als Masse-Feder-System zur Entkopplung der Vibrationen und überträgt die Vorschubkräfte vom Griff auf das Werkstück.

Abb. 3.17 Analyse einer laufenden Schleifmaschine, von der Vorderseite aus gesehen. Oben links: Die Maschine ist mit einem starren Griff ausgestattet, der sich phasengleich bewegt. Links unten: Ausstattung mit einem Anti-Vibrationsgriff, der sich außerphasig bewegt. Die Frage ist, welche Lösung die bessere ist.

Ein beweglicher Zylinder und ein Ventilsystem stecken im Maschinengehäuse in einem Lager mit geringer Reibung. Der Zylinder hat an einem Ende einen Dämpfungskolben. Wird der mit einem Döpper bestückte Hammer gegen einen Niet gedrückt, ist zunächst die am Griff aufgebrachte Vorschubkraft auf den Niet zu übertragen. Beim Andruck verschiebt sich der Dämpfungskolben in der Maschine nach hinten und gibt dabei allmählich eine Einlassöffnung zu einem Hohlraum im Griff frei. Gleichzeitig schließt er langsam eine Auslassöffnung. Der Luftdruck im Hohlraum des Griffes steigt dann so weit an, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Einlass- und Auslassstrom einstellt.

Der auf den Dämpfungskolben wirkende Druck erzeugt eine Kraft, die der Vorschubkraft entspricht. Nimmt die Vorschubkraft zu oder ab, reagiert das System mit einer entsprechenden Druckänderung. Dazu braucht es jedoch mindestens 5 Hz. Bei höheren Frequenzen, wie der Schlagfrequenz des Hammers, hat das System keine Zeit, Luftdruckänderungen über den freien Raum auszugleichen. Somit fungiert das Luftvolumen dann als eine Feder, der Griff ist eine Masse und das Ganze ein System mit einer leistungsfähigen Vibrationsdämpfung (gewichteter Wert < 2,5 m/s^2). Dieses Entkoppelungssystem ist bei sehr unterschiedlichen Vorschubkräften wirksam.

Beurteilung von Vibrationen

Nach der europäischen Maschinenrichtlinie (2006/42/EG), die grundlegende Sicherheitsstandards definiert, ist der Hersteller verpflichtet, Vibrationswerte in der Betriebsanleitung anzugeben. Diese sind nach einer anerkannten europäischen Norm (EN) zu ermitteln. Die ISO EN 8662, EN 50144 und EN 60745 werden für pneumatische und elektrische Kraftwerkzeuge zugrundegelegt.

Entweder ist angegeben, dass der Wert unter 2,5 m/s^2 liegt, oder der tatsächliche Wert ist genannt. Die deklarierten Werte dienen nur zur allgemeinen Information über das Werkzeug.

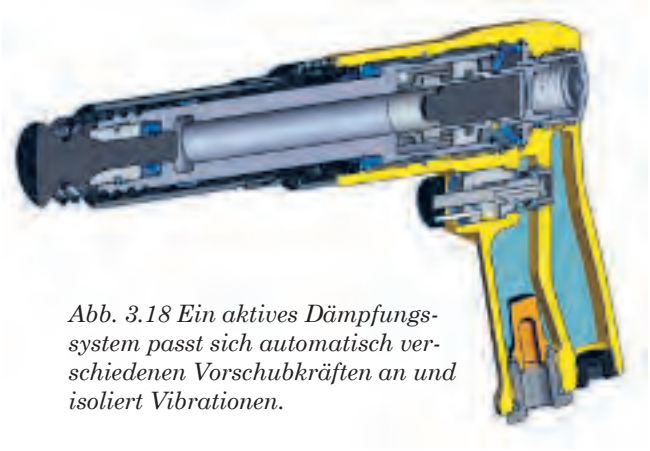


Abb. 3.18 Ein aktives Dämpfungssystem passt sich automatisch verschiedenen Vorschubkräften an und isoliert Vibrationen.

Wie können wir Nennwerte nutzen?

Beispielweise zum Vergleich verschiedener Werkzeugkonstruktionen und -fabrikate. Denn wahrscheinlich vibrieren die Werkzeuge mit den niedrigsten Laborwerten auch in der realen Arbeitssituation am wenigsten. Und Vibrationsmessungen sind schon im Labor schwierig, noch schwieriger und erheblich teurer wird es in einer realen Situation.

So ist es nur allzu verständlich, Berechnungen auf Basis von Nennwerten durchzuführen, um das Belastungsrisiko abzuschätzen. Bedenken muss man allerdings, dass die Normen für die Messung von Vibrationen von einem einzigen Punkt für den Messwertgeber ausgehen. Entlang eines Griffes kann die Vibrationsstärke aber um den Faktor fünf schwanken. Zudem wird der Nennwert mit einer künstlichen Belastung der Maschine ermittelt. Berücksichtigt man alle Arten von Einsatzwerkzeugen und die Unterschiede, wie verschiedene Werker die Maschine benutzen, schwanken die Ergebnisse eines einzigen Messpunktes in der Praxis um den Faktor drei.

Ein anderer wichtiger Parameter ist die Belastungsdauer. Ein simpler Parameter, könnte man meinen, aber schwer zu schätzen, sofern die zu analysierende Tätigkeit nicht zyklisch ist. Außerdem benutzen Werker oft verschiedene Werkzeuge, weshalb eine kumulierte Gesamtbelastung berechnet werden sollte.

Sogar die Norm ISO 5349 selbst enthält Fallgruben. So basiert etwa die Beziehung zwischen Vibrationsdosis und ihrer Auswirkung auf einer begrenzten Anzahl von Forschungsberichten. Dennoch soll sie vermitteln, was wahrscheinlich geschehen wird, wenn eine Reihe von Werkern über mehrere Jahre belastet wird.

Berücksichtigt man all das, könnte man folgern, die Nennwerte seien überhaupt nicht nutzbar. Wir glauben jedoch, dass sie durchaus für grobe Einordnungen taugen, insbesondere bei „Multi-Stressor-Analysen“. Dieselbe Schlussfolgerung hat die CE-Standardisierungsgruppe gezogen, die sich mit der Frage beschäftigte, wie die 2002/44/EG, die „Richtlinie gegen physikalische Einwirkungen (Vibrationen)“ eingeführt werden kann.

In einem technischen Report (CEN/TR 15350) schlägt sie vor, dass eine erste grobe Einschätzung auf den Nennwerten basieren kann, wenn diese mit einem gegebenen Korrekturfaktor multipliziert werden. Für die meisten industriellen Werkzeuge beträgt dieser Faktor 1,5, für Meißelhämmer beim Gussputzen 2. Bei Werkzeugen mit Nennwerten unter 2,5 m/s^2 sollte immer von 2,5 m/s^2 ausgegangen werden.

In der folgenden Beurteilung wenden wir die Richtlinien der CEN/TR 15350 an. Allerdings können Nennwerte, die auf den überarbeiteten Normenversionen der ISO 8662 und der EN 60745 basieren, in den meisten Fällen ohne jegliche Korrektur verwendet werden. Die überarbeiteten Teile der ISO 8662 tragen eine neue Seriennummer. Sie werden als ISO 28927 bezeichnet.

Belastungsdauer

Um Vibrationen beurteilen zu können, muss die Gesamtbelastungszeit bekannt sein – möglichst die tatsächliche Belastungszeit. Zu beachten ist, dass Werker diese häufig überschätzen.

Die nachstehende Tabelle 3.13 haben wir zusammengestellt, indem wir Kollegen und andere Fachleute nach ihrer Meinung zu den typischen Belastungszeiten für unterschiedliche Maschinentypen befragten. Die Ergebnisse wurden den wenigen Messungen, die bislang durchgeführt worden sind, gegenübergestellt. Um verschiedene Werkzeugtypen bei derselben Aufgabe zu vergleichen, sollten die angegebenen Belastungszeiten verwendet werden.

Berechnung der Dosis

Für die Beziehung zwischen Ursache und Wirkung, nämlich der Dauer einer Vibrationsbelastung bis zu den ersten Anzeichen des Weißfingersyndroms, gibt die ISO 5349 ein 8-Stunden-Äquivalent an:

$$A_{(8)} = (T/8)^{½} \bullet a_{hv}$$

wobei a_{hv} der Vibration im Prozess entspricht. In unserer groben Schätzung verwenden wir den Nennwert für das in Frage stehende Werkzeug. T entspricht der tatsächlichen Belastungszeit oder der Gesamteinsatzdauer entsprechend dem Durchschnittswert aus Tabelle 3.13.

In unserer Berechnung nutzen wir den Auslösewert von 2,5 m/s^2 als den Wert, welcher der Punktezahl 20 entspricht. Als Vergleich finden wir bei der American Conference of Governmental Industrial Hygienists einen Wert von 4 m/s^2 für eine tägliche Belastung zwischen 4 und 8 Stunden (beachten Sie die Zeitspanne).

Um den Vibrationsstressor mit anderen Stressoren vergleichen zu können, nutzen wir eine Kurve, in der 2,5 m/s^2 den Wert 20 und 5 m/s^2 den Wert 50 haben.

Maschinentyp	Stunden pro Tag	Streuung ± in Stunden
Schleifmaschinen	3	1,5
Bohrmaschinen	1	0,5
Meißelhämmer	2	1,5
Niethämmer	1	0,5
Kleinschrauber	2	1
Schlagschrauber	1	0,5
Impulsschrauber	2	1
Winkelschrauber	2	1
Abwürgeschrauber	1	0,5

Tabelle 3.13 Typische tägliche Einsatzzeiten verschiedener Werkzeuge.

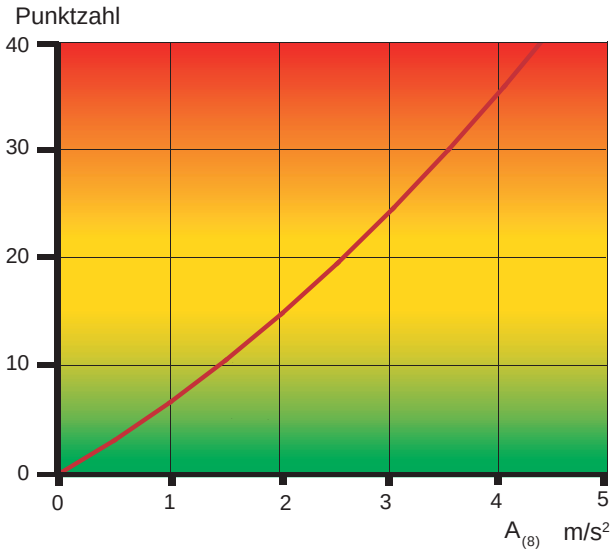


Abb. 3.19 Punktzahl für die Vibration über dem $A_{(8)}$-Wert, der auf einen 8-Stunden-Arbeitstag normierten Vibrationsbelastung.

Literatur

ISO 5349, part 1, Guidelines for the measurement and assessment of human exposure to hand transmitted vibrations.

ISO 5349, part 2, Practical guidance for measurement at workplace.

ISO 8662, part 1-14, Hand-held power tools – measurement of vibration at the handles.

ISO 20643, Mechanical vibration – Hand-held and hand-guided machinery – Principles for evaluation of vibration emission.

EN 50144, part 1-2, Safety of hand-held electric motor-operated tools.

EN 60745, part 1-2, Hand-held motor-operated electric tools – Safety.

Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of June 25, 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibrations).

CE/TR 15350, Mechanical vibration – Guideline for the assessment of exposure to hand-transmitted vibration using available information including that provided by manufacturers of machinery.

Vibration exposure assessment for power tools, 9833 1508 01, a pocket guide from Atlas Copco Tools AB.

Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinien 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, LärmVibrationsArbSchV). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 8 vom 8. März 2007, Bonn.

Geräusche / Lärm

Lärm war der erste Faktor des Arbeitsumfelds, der bei handgeführten Kraftwerkzeugen untersucht wurde. Typische Lärmquellen sind der Lamellenmotor, die ausströmende Luft, das Getriebe und – bei sehr leisen Maschinen – Vibrationen des Gehäuses. Doch manchmal überwiegt der Prozesslärm. Das führte zur Entwicklung von Werkzeugen für neue, leisere Arbeitsabläufe.

Was ist Lärm?

Was wir als Schall oder, je nach Empfindung, als Lärm wahrnehmen, ist eine Änderung des atmosphärischen Drucks. Diese bewegt unser Trommelfell, wobei vom Innenohr ein Nervensignal zum Gehirn gesendet wird.

Solche Druckänderungen erzeugen Lautsprecher, oszillierende Bleche oder vibrierende Maschinengehäuse. Andere Schallquellen sind Luftströme mit hoher Geschwindigkeit oder pulsierende aus einem Motorauspuff. Lärm erzeugen auch einzelne, von einem Schlag stammende Druckimpulse.

Lärmmessungen im Schalllabor.

Wie wird Lärm gemessen?

Ein Mikrofon wandelt die Druckänderungen in elektrische Signale um, die verstärkt und in einen Computer eingespeist werden. Schall kann mit der 1-, 1/3- oder 1/12-Oktavband-Analyse untersucht werden.

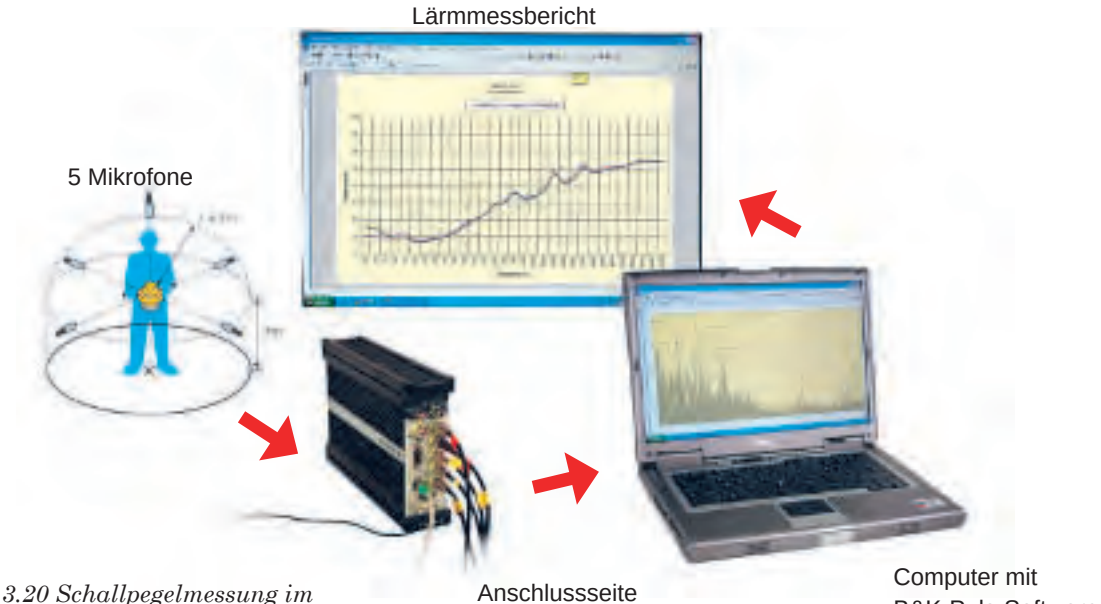


Abb. 3.20 Schallpegelmessung im Labor entsprechend ISO 15744.

Ferner kann Schall als Schmalband gemessen werden, wobei das gesamte Frequenzspektrum untersucht werden kann.
Bei der gebräuchlichsten Methode zur Darstellung von Schall wird das Signal durch einen Breitbandfilter geleitet, wobei sich eine einzige Kurve ergibt. Es gibt eine Reihe verschiedener Filter; A-, B-, C- und D-Filter. Die Eigenschaften des A-Filters entsprechen denen des menschlichen Ohres bei niedrigen Pegeln. Um den Messvorgang zu vereinfachen, wird der A-Filter derzeit für alle Pegel eingesetzt. Die Maßeinheit ist dB(A).

Normen

Es gibt Normen für Belastungs- und Labormessungen. Die Lärmgrenzwerte sind von Land zu Land unterschiedlich. Neben der europäischen Richtlinie 2003/10/EG gilt in Deutschland seit 9. März 2007 die Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung. Die Verordnung nennt einen oberen und einen unteren Aktionsgrenzwert von 85 beziehungsweise 80 dB(A) ohne Ohrschutz. Wird ein Wert überschritten, muss der Arbeitgeber die in der Verordnung aufgeführten Gegenmaßnahmen ausführen. Für derartige Messungen gibt es Dosimeter.

Labormessungen

In den sechziger Jahren wurde eine Norm für Lärmpegelmessungen an handgeführten Kraftwerkzeugen ausgearbeitet. Sie war das Ergebnis der Zusammenarbeit zwischen Pneurop (dem europäischen Ausschuss der Hersteller von Kompressoren, Vakuumpumpen und Druckluftwerkzeugen) und dem CAGI (Compressed Air and Gas Institute) in den USA.

Die europäische Maschinenrichtlinie verlangt vom Hersteller, den am Arbeitsplatz wirksamen Lärmpegel anzugeben. Übersteigt der Schalldruckpegel 85 dB(A), muss außerdem noch die Schallleistung angegeben werden. Das hat zu einiger Verwirrung geführt, denn Schalldruck- und Schallleistungspegel haben dieselbe Maßeinheit, dB(A). Der Schallleistungspegel wird rechnerisch anhand einer Reihe von Schalldruckwerten über einer Testfläche ermittelt. Pneurop und CAGI erarbeiteten zwei Normen, die eine Schätzung enthalten. Diese wurden durch die Norm ISO 15744 ersetzt.

Derzeit werden Lärmmessungen für Druckluft-Werkzeuge gemäß ISO 15744 und für elektrische Werkzeuge gemäß EN 50144 oder EN 60745 durchgeführt.

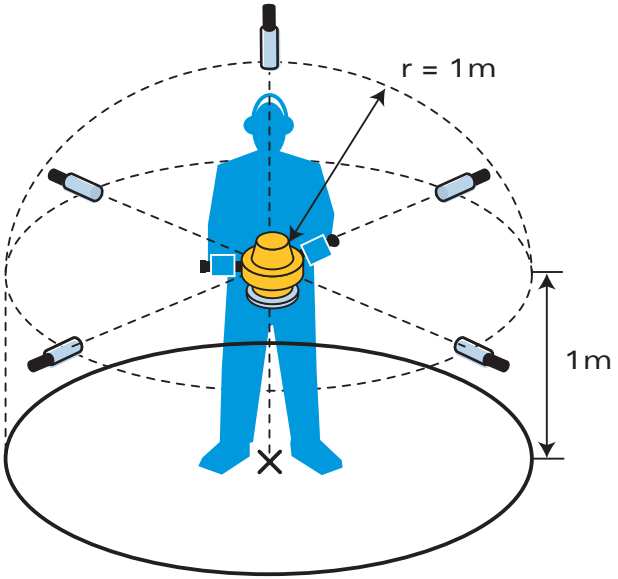


Abb. 3.21 Testanordnung für die Positionen von fünf Mikrofonen.

Testverfahren

Das Testobjekt wird von einem Werker gehalten. Der Abstand zwischen dem geometrischen Mittelpunkt des Werkzeugs und den Mikrofonen beträgt 1 m. Vier Mikrofone sind parallel zum Boden angeordnet, ein fünftes hängt 1 m über dem geometrischen Werkzeugmittelpunkt.

Der durchschnittliche, von allen fünf Mikrofonen erfasste Schalldruckpegel ist Grundlage für den Nennwert an der Stelle, wo der Werker steht.

ISO 15744 berechnet den Schallleistungspegel gemäß folgender Formel:

$L_W = L_p + 10 \lg (S/S_0)$ dB(A), wobei

L_W Schallleistungspegel in dB(A)

L_p durchschnittlicher Schalldruckpegel von fünf Mikrofonpositionen, in dB(A)

S Fläche von Halbkugel und Zylinder in m^2, durch die der Schall hindurchgeht,

S_0 Bezugsfläche von 1 m^2
S ist 4 π m^2, daher 10 lg (4 π) = 11

Ein Schallleistungswert ist demnach immer um 11 dB(A) höher als der entsprechende durchschnittliche Schalldruckwert.

Belasten des Werkzeugs

Einige Werkzeuge laufen belastet, andere nicht. In einer Belastungsvorrichtung muss der Lärm, den diese erzeugt, mindestens 10 dB niedriger sein als der Lärm des Werkzeugs; und zwar bei jeder Oktave, die den dB(A)-Wert beeinflusst.

Angabe der Lärmemissionswerte

Die Schallmessnorm bestimmt die Art des Testverfahrens, das der Nennwertermittlung zugrunde liegen sollte. Des Weiteren nennt sie eine Methode für den Umgang mit Unsicherheiten. Der Gesamtkorrekturfaktor, der zum Messwert hinzuzurechnen ist, beträgt 3 dB(A). Man kann durchaus argumentieren, dass 3 dB(A) ein sehr ungenauer Wert sei und die Unsicherheit bei einigen Werkzeugen geringer ist. Zudem gibt es internationale Normen zur Angabe von Nennwerten, in denen die Toleranz speziell für jedes Werkzeug berechnet wird.

Lärmbekämpfung

Lärm, der auf das menschliche Ohr oder ein Mikrofon trifft, ist fast immer eine Kombination von Geräuschen aus mehreren Quellen. Soll der Pegel eingeschränkt werden, müssen diese unbedingt bekannt sein. Noch günstiger ist es, wenn die relative Lautstärke der einzelnen Quellen bekannt ist.

Sind etwa zwei Geräuschquellen mit demselben Schallpegel vorhanden und eine der beiden kann vollständig entfernt werden, wird der Gesamtschallpegel lediglich um 3 dB(A) verringert. Sind mehrere vorhanden und wird eine entfernt, kann sich das – je nach Frequenz und relativer Lautstärke – überhaupt nicht auf den Messwert

auswirken. Bei Labortests empfiehlt es sich, einzelne Quellen zu identifizieren und, soweit möglich, zu isolieren. Moderne Messinstrumente, wie Lautstärkemesser, können dabei von großem Nutzen sein.

Zunächst können wir uns einfach nur die Maschine ansehen, ohne den Prozesslärm zu berücksichtigen. Eine mit Druckluft betriebene Schleifmaschine enthält mehrere Geräuschquellen. Sorgt ein Lamellenmotor für den Antrieb, ist dieser die lauteste Quelle. Gewöhnlich ist es am wirkungsvollsten, bei der Bekämpfung der Lärmentwicklung hier anzusetzen.

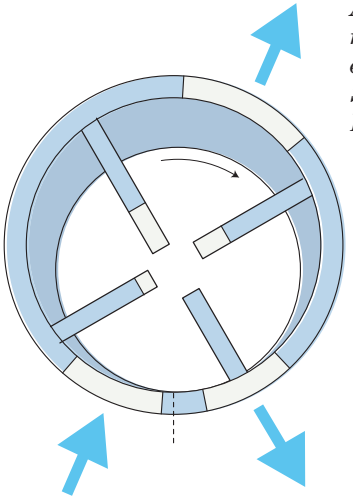


Abb. 3.22 Die pulsierende Auspuffluft ist eine der wesentlichen Schallquellen beim Lamellenmotor.

Der Lamellenmotor

Dieser besteht aus einem Rotor mit Lamellenreihen, die sich exzentrisch in einem Zylinder drehen. Er hat einen Drucklufteinlass und mindestens einen Auslass (in der Regel Löcher oder Schlitze im Zylindermantel).

Passiert eine Lamelle eine der Auslassöffnungen, strömt die Druckluft mit hoher Geschwindigkeit nach außen. Dadurch entsteht außerhalb des Zylinders ein Druckimpuls, gefolgt vom nächsten der folgenden Lamelle.

Bei laufendem Motor wird also ein Geräusch erzeugt, dessen Grundfrequenz der Anzahl der Lamellen mal der Rotordrehzahl entspricht. Eine Schmalbandanalyse dieser Geräusche ergibt die Grundfrequenz und eine Reihe von Oberschwingungen.

Mit anderen Worten: Bei dem Signal handelt es sich nicht um eine Sinuswelle, sondern um eine komplexere Kurve. Allerdings ist die Grundfrequenz meist dominant. Eine Möglichkeit, dieser Lärmentwicklung zu begegnen, ist die asymmetrische Anordnung der Lamellenreihen im Rotor. Andererseits kann gleichzeitig auch der Luftauslass so konstruiert werden, dass sich der Gradient des Luftstroms verringert. Denn der Schallpegel sinkt mit der Verringerung der Strömungsgeschwindigkeit.

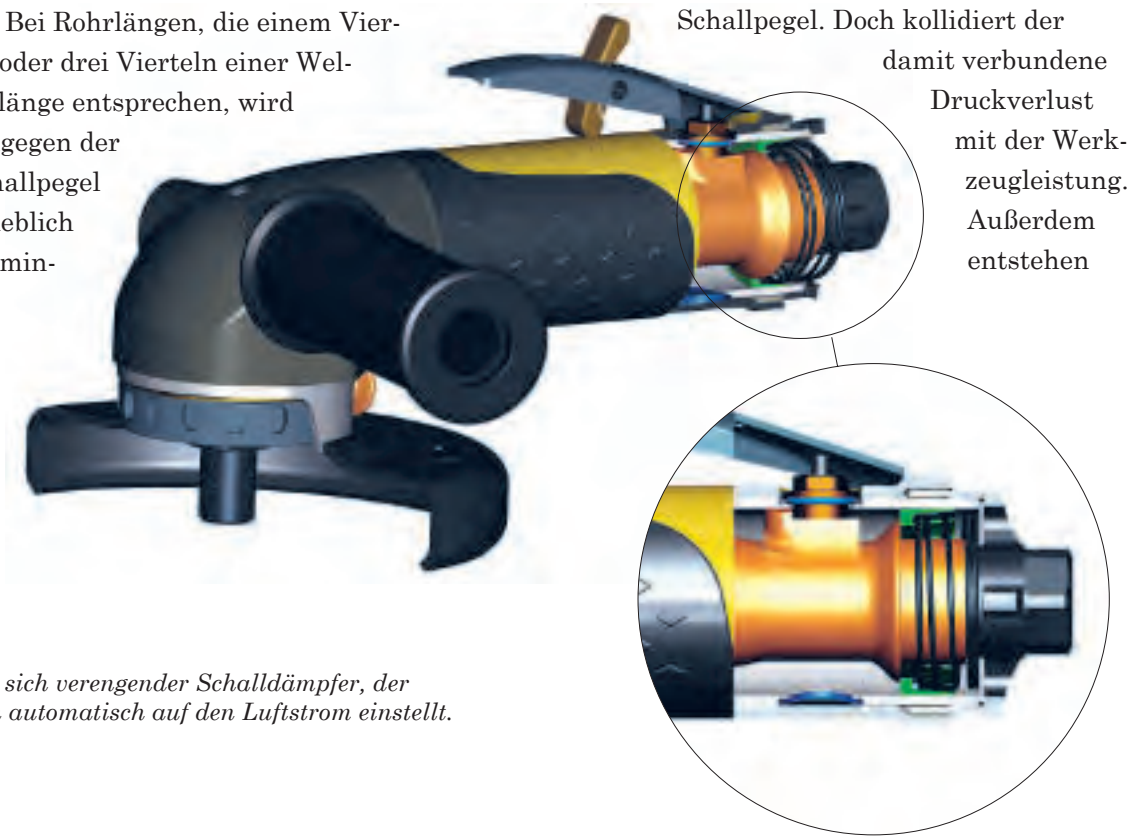
Schalldämpfer

Wenn ein Motor schalltechnisch hinsichtlich aller Parameter optimiert wurde, können die verbleibenden Geräuschquellen nur noch durch Schalldämpfung beseitigt werden. Wird ein Rohr an den Luftauslass angeschlossen, lässt sich der Schallpegel am offenen Ende des Rohres über die Rohrlänge regeln. Ist diese mit einer ganzen oder halben Wellenlänge der Grundfrequenz identisch, hat das Rohr praktisch keinen Einfluss auf den Schallpegel.

Bei Rohrlängen, die einem Viertel oder drei Vierteln einer Wellenlänge entsprechen, wird hingegen der Schallpegel erheblich vermindert. Dabei handelt es sich um einen abgestimmten Schalldämpfer.

Routinemäßig messen wir die Länge unserer Dämpfer, um dieses Phänomen nutzen zu können, bauen aber auch Staudruck-Schalldämpfer. Diese haben einen Hohlraum und eine Verengung im Auslass. Je größer der Hohlraum, desto stärker der Dämpfungseffekt. Doch Größe und Gewicht des Werkzeugs steigen.

Je größer der Druckabfall in der Verengung, umso stärker sinkt der Schallpegel. Doch kollidiert der damit verbundene Druckverlust mit der Werkzeugleistung. Außerdem entstehen



Ein sich verengender Schalldämpfer, der sich automatisch auf den Luftstrom einstellt.

durch die Verengung aerodynamische Geräusche am Auspuff. Gefragt ist also ein Kompromiss.

Ein geregelter Schleifer hat bei Leerlaufdrehzahl einen niedrigen und bei Volllast einen hohen Luftdurchsatz. Der Schalldämpfer muss beide Extreme bewältigen und alles, was dazwischen liegt. Dämpfer haben darum für derartige Werkzeuge eine regelbare Verengung, das heißt ein Regelventil im Luftaustritt. Mit stärker werdendem Luftstrom werden mehr Auspufflöcher frei. So gibt es unabhängig vom Luftstrom kaum einen Druckabfall.

Ein weiterer Vorteil dieser Konstruktion ist die Verringerung des Abschaltgeräusches. Wird der Schleifer abgeschaltet, fällt der Luftstrom innerhalb kurzer Zeit ab. Einem herkömmlichen Geräuschdämpfer fehlt dann der Druckabfall in der Verengung, er büßt den größten Teil seiner Wirkung ein. Zudem läuft aber auch die Schleifscheibe noch einige Sekunden nach. Dabei wird der Motor zur Pumpe und saugt Luft über den Auspuff an, was einen hohen Lärmpegel erzeugt. Weil bei der Konstruktion eines geregelten Schalldämpfers der Ventilkolben den Auspuff verschließt, entstehen überhaupt keine Abschaltgeräusche.

Bei Schraubern und anderen Werkzeugen, die immer nur kurzzeitig eingesetzt werden, ist es wirkungsvoller, den Schalldämpfer mit porösem Material zu füllen. Das zerreißt die Wirbel im Luftstrom und senkt so den Schallpegel.

Aerodynamischer Lärm

Der Druckabfall im Schalldämpferausgang beschleunigt die Luft, so dass ihre Geschwindigkeit zunimmt.

Die erzeugte Schallleistung ist eine Funktion sechsten Grades der Ausströmgeschwindigkeit, diese sollte also unbedingt gering sein. Der aerodynamische Lärm hat hohe Frequenzanteile im Breitbandbereich. Je kleiner der Auslass, desto höher ist die Frequenz. Bei sehr kleinen Löchern liegt das Frequenzspektrum außerhalb des Hörbereichs, so dass der dB(A)-Wert ebenfalls reduziert wird. Allerdings besteht dann Verstopfungsgefahr am Auspuff.

Durch Vibrationen erzeugter Lärm

Hier können Schleifer-Schutzhauben problematisch sein. Die schallübertragende Fläche ist verhältnismäßig groß. Um den Lärmpegel zu senken, muss man wissen, ob die Resonanzfrequenz über oder unter der typischen Lauffrequenz liegt. Die Resonanzfrequenz der Haube ist zu vermeiden.

Prozesslärm

Der durch den Arbeitsprozess erzeugte Lärmpegel lässt sich meist nur unter großen Schwierigkeiten ausschalten. Mitunter kann eine andere Werkzeugart eingesetzt und somit der Arbeitsvorgang verändert werden; so mit einem Dreh- oder Impulsschrauber anstelle eines Schlagschraubers.

Statt eines mechanischen Schlagwerks mit Hammer und Amboss nutzen Impulsschrauber eine hydraulische Pulszelle. Technisch gesehen, wirkt ihr Ölpolster zugleich als Filter gegen hochfrequente Schallemissionen. Wenn sich die Pulse über die Schraubverbindung auf das Werkzeug fortpflanzen, werden keine Resonanzfrequenzen im hohen Frequenzbereich angeregt. Das Resultat ist weniger Prozesslärm.

Beurteilung von Lärm

Auch hier ist die Frage: Können wir die Nennwerte für den Lärmpegel bei unserem Vergleich der Auswirkungen verschiedener Stressoren nutzen? Bei einigen Werkzeugen schwankt die Geräuschentwicklung beim Arbeiten erheblich. Insbesondere bei Schleifmaschinen übertönt zudem der Prozesslärm meist das Maschinengeräusch.

In diesem Dilemma hilft nur, den Anwender darüber aufzuklären, dass die Lärmbelastung sehr unterschiedlich sein kann: von der mit Hilfe des Nennwertes berechneten Dosis bis zu einer wesentlich größeren, die vom Werkstück und seinen Arbeitsgewohnheiten abhängt. Allein ein sich ändernder Abstand zwischen Schallquelle und Ohr kann den Belastungspegel um 6 dB(A) verändern.

Bei der Schallmessung wurde der Wert für die Stelle, an der sich der Werker befindet, über den Durchschnittswert von fünf Mikrofonen in 1 m Abstand vom Werkzeug definiert. Man könnte meinen, dass 1 m zwischen Werkzeug und Ohr des Werkers ein zu großer Abstand ist. Jedoch zeigen Vergleiche, dass die Resultate sehr nahe an dem Wert am Ohr des Werkers liegen, weil die vom Werkzeug ausgestoßene Luft von ihm weggeleitet wird. Die Ausbreitung des Schalls in seine Richtung ist also geringer.

Berechnung der Dosis

Der Nennwert des Lärmpegels, dem der Werker während der angenommenen durchschnittlichen Zeit ausgesetzt ist, wird auf ein 8-Stunden-Äquivalent umgerechnet.

$$L_{eq(8)} = 10 \lg [1/8 \cdot 10^{L/10} \cdot T)]$$

L Lärmpegel in Gebrauch, anhand des Nennwertes geschätzt

T angenommene Belastungsdauer [h]

Typische Belastungszeiten pro Tag für verschiedene Maschinen zeigt Tabelle 3.10. Der $L_{eq(8)}$-Wert wird dann mit dem Grenzwert für eine achtstündige Belastung verglichen, 85 dB(A) ergeben eine Punktzahl von 20.

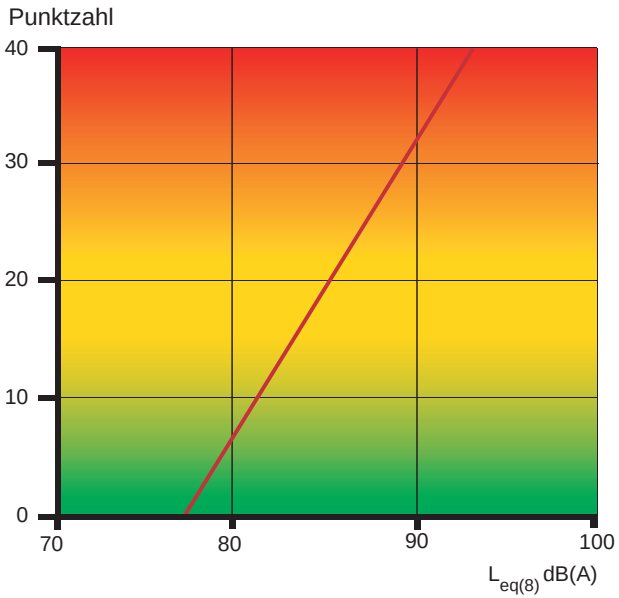


Abb. 3.23 Die Punktzahl für den Lärm erhält man über den Lärmpegel L_{eq} für einen 8-Stunden-Tag.

Belastungszeit

Hier setzen wir dieselben durchschnittlichen Belastungszeiten voraus wie bei Vibrationen. Diese Werte zeigt Tabelle 3.13.

Literatur

ISO 3744, Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure. Engineering methods in an essentially free field over a reflecting plane.

ISO 15744, Hand-held non-electric power tools – Noise measurement code – Engineering method (grade 2).

Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council of 6 February, 2003 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise).

Verordnung zur Umsetzung der EG-Richtlinien 2002/44/EG und 2003/10/EG zum Schutz der Beschäftigten vor Gefährdungen durch Lärm und Vibrationen (Lärm- und Vibrations-Arbeitsschutzverordnung, LärmVibrationsArbSchV). Bundesgesetzblatt Jahrgang 2007 Teil I Nr. 8 vom 8. März 2007, Bonn.

Staub und Öl

Der Einfluss dieser beiden Faktoren auf den Werker und damit seine Gesundheit hängt sehr stark von der Arbeit selbst ab. Staubpartikel und Ölnebeltröpfchen sind so klein, dass sie lange Zeit in der Luft schweben. Bei mangelhafter Belüftung kommt es zu hohen Konzentrationen.

Was sind Staub und Ölnebel?

Schwebstoffe als Luftverunreinigungen kommen in fester wie auch in flüssiger Form und in unterschiedlichen Größen vor. Große Partikelmengen, die in einem Trägermedium schweben, werden als Dispersion bezeichnet. In Luft bezeichnet man diese Dispersion auch als Aerosol.

Bestimmte Aerosole enthalten feste Partikel, die bei einer Größe von mehr als 0,5 µm (1 µm = 1/1000 mm) als Staub, bei einer geringeren Größe als Rauch bezeichnet werden. Staub entsteht in der Regel bei der mechanischen Oberflächenbearbeitung, etwa beim Schleifen oder Polieren. Rauch ist hingegen das Produkt einer unvollständigen Verbrennung.

Ein Aerosol, dessen Tröpfchengröße 0,5 µm überschreitet, wird als Nebel bezeichnet. Tröpfchen entstehen, wenn eine Flüssigkeit zerstäubt wird, etwa beim Farbspritzen oder Schmieren von Druckluftwerkzeugen.

Einatembare Aerosole

Die für die Gesundheit gefährlichsten Partikel eines Aerosols haben Durchmesser zwischen 0,1 und 5 µm (größere Partikel werden in der Nase ausgefiltert). Sie können mit der eingeatmeten Luft in die tiefsten Lungenbläschen, die Alveolen, eindringen. Obwohl einige auch wieder ausgeatmet werden, verbleiben viele dort – sie sind atemweggängig.

Inerte Partikel

In den Alveolen stößt der Körper Kohlendioxid aus und nimmt Sauerstoff auf. Daher ist es äußerst wichtig, dass die Alveolen nicht mit Staub überzogen oder durch aggressive Staubpartikel geschädigt werden.

Eingeatmete Partikel werden oft zurücktransportiert und geschluckt, oder das Lymphsystem kümmert sich um sie. Einige setzen sich aber in den Alveolen fest und mindern deren Fähigkeit zum Gasaustausch. Der meiste Staub, den wir einatmen, ist aber harmlos oder inert.

Toxische Partikel

Stäube bestimmter Metalle (Mangan, Vanadium, Cadmium und Beryllium) können ernsthafte Entzündungen des Lungengewebes verursachen. Dieser Zustand ist von unterschiedlicher Brisanz, je nach Stärke der Belastung und Art des Staubes. Einige Substanzen durchdringen sogar die Wände der Alveolen und werden vom Lymphsystem abtransportiert. Zu diesen Substanzen gehören unter anderem Blei und Cadmium, die zu Vergiftungen führen und nur sehr langsam wieder aus dem Körper ausgeschieden werden können.

Fallgeschwindigkeit

Aerosolpartikel, die hier von Interesse sind, haben sehr langsame Fallgeschwindigkeiten. Tabelle 3.14 zeigt sie für kugelförmige Partikel mit der Dichte von Wasser (1 g/cm^3) in Luft bei einer Temperatur von 20 °C. Atemweggängiger Staub schwebt also lange Zeit in der Luft. Wie bereits erwähnt, hängt die Konzentration im Atembereich des Werkers sehr von der Belüftung ab. Wird etwa in einer Gussputzerei die Luft abgesaugt, entsteht aber auch ein am Werker vorbeiziehender Luftstrom, der als Zug empfunden wird, falls seine Geschwindigkeit 0,5 m/s überschreitet.

Entsteht bei der Arbeit Staub, bewegen sich Staubwolken mit einer Geschwindigkeit von mehr als 0,5 m/s auf den Werker zu und belasten ihn. Eventuell zieht die Staubwolke danach sogar noch einmal zurück in die Putzkabine, und der Werker kommt erneut mit ihr in Kontakt. Typisch für die Ausbreitung von atemweggängigem Staub ist, dass die Partikel der Luftbewegung im Raum folgen.

Durchmesser (µm)	Fallgeschwindigkeit (cm/s)
1	0,003
5	0,07
10	0,3
50	7
100	30

Tabelle 3.14 Die Fallgeschwindigkeit hängt sehr stark von der Partikelgröße ab.

Durch ein leistungsfähiges Belüftungssystem kann die Partikelmenge in der Luft reduziert werden. Ein unwirksames System hingegen erhöht die Anzahl der Partikel und Öltröpfchen im Laufe des Arbeitstages. Um die Belastung der Werker festzustellen, sind über lange Zeit Messungen zur Ermittlung eines Durchschnittswertes durchzuführen.

Wie misst man atembare Aerosole?

Um atemweggängige oder atembare Aerosole zu messen, gibt es Belastungs- und Laboremissionsmessungen.

Belastungsmessungen

Weil sich Staub ungleichmäßig ausbreitet, müssen diese Messungen über lange Zeiträume durchgeführt werden, bis hin zu ganzen Arbeitstagen. Dazu schnallt sich der Werker eine leichte Luftpumpe um, die eine Durchsatzmenge entsprechend der normalen Atmung hat. Auf seiner Schulter wird dann ein Filter angebracht, durch den die Pumpe ansaugt. Schwebepartikel werden zurückgehalten und anschließend analysiert. Dabei lässt sich die durchschnittliche Partikelmenge in mg/m^3 ermitteln sowie die Größenverteilung und der Materialgehalt.

Laboremissionsmessungen

1987 veröffentlichte Pneurop eine Reihe von Richtlinien über Verfahren zur Messung von Staubemissionen bei handgeführten Kraftwerkzeugen. Diese stellen eine Methode vor, bei der die Werkzeuge in einem laminaren Luftstrom aufgestellt werden. Gemessen wird die Partikelemission bei einem festgelegten Arbeitsvorgang mit verschiedenen Arten von Werkzeugen.

Von den Herstellern wurde diese Methode bislang noch nicht verwendet. Einige Teststationen wurden jedoch gebaut, da-

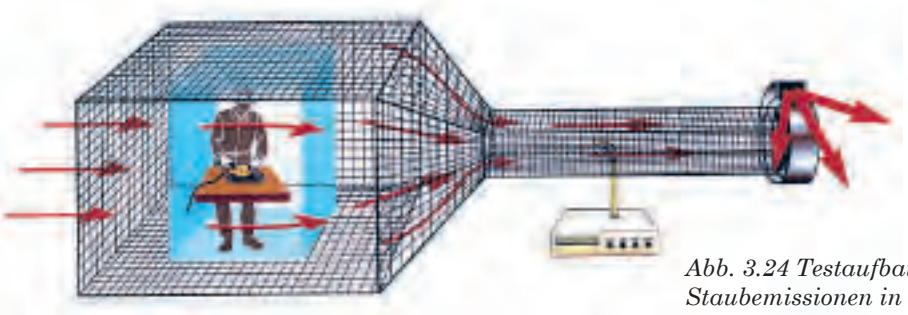


Abb. 3.24 Testaufbau für die Messung von Staubemissionen in einer Laminarströmung.

runter eine in Deutschland beim Berufsgenossenschaftlichen Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin. Die Angabe von Nennwerten für die Staubemission ist jedoch noch nicht vorgeschrieben.

Staubbekämpfung

Die wirksamste Methode zur Staubbekämpfung ist das Absaugen so nah wie möglich an der Staubquelle. Kraftwerkzeuge sollten mit integrierten Punktabsaugvorrichtungen versehen sein. Dadurch reicht ein schwächerer Luftstrom zur Belüftung der Arbeitskabine, die Heizungskosten sinken, und der Werker steht nicht in der Zugluft. Solche Systeme werden auch mit Ölnebeltröpfchen fertig. Ölfreie Maschinen sind aber noch besser.

Staubabsaugung so nah wie möglich an der Quelle

Es gibt große Unterschiede zwischen dem Ausblasen und dem Ansaugen von Luft. Wird Luft mit einer Geschwindigkeit v durch eine Düse mit dem Durchmesser d geblasen, beträgt die Luftgeschwindigkeit in einer Entfernung von 10 d noch 0,1 v. Wird jedoch Luft mit einer Geschwindigkeit v durch eine Düse mit einem Durchmesser d gesaugt, beträgt die Luftgeschwindigkeit außerhalb der Düse 0,1 v im Abstand d von der Düse. Deshalb sollte der Staub möglichst nahe der Stelle abgesaugt werden, wo er erzeugt wird.

Absaughauben

Die am weitesten verbreiteten Punktabsaughauben haben eine Bürstenlippe um den ganzen Rand herum. Da ein Teil der Haube ausgeschnitten ist, kann der Werker die laufende Schleifscheibe sehen. Beim Arbeiten wird der Schleifstaub von der Bürstenlippe eingeschlossen. Diese begrenzt die Ausbreitung des Schleifstaubs. Die Strömungsgeschwindigkeit der Ansaugluft bleibt so niedrig.

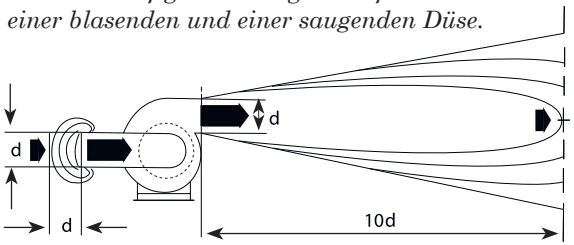
Abb. 3.25 Am gebräuchlichsten ist die Absaughaube mit Bürstenlippe.

Absaugschlauch

Der Absaugschlauch ist eines der wichtigsten Elemente eines Staubabsaugsystems. Er hat nicht nur beträchtliche Auswirkungen auf die Bedienungsfreundlichkeit des Systems, sondern sorgt auch für den größten Druckabfall.

Druckabfall und Bedienungsfreundlichkeit sind zwei gegenläufige Kriterien. Die Wahl ist daher am Ende stets ein Kompromiss. Um die für eine wirksame Absaugung benötigte Ansauggeschwindigkeit zu erreichen, braucht die Punktabsaughaube einen bestimmten Luftstrom. Der Druckabfall im Saugschlauch hängt vom Durchmesser und von der Länge des Schlauches ab. Der Anwender möchte natürlich einen möglichst großen Arbeitsbereich nutzen, doch die Verlängerung des Saugschlauches verschlechtert die Saugleistung.

Abb. 3.26 Luftgeschwindigkeit außerhalb einer blasenden und einer saugenden Düse.



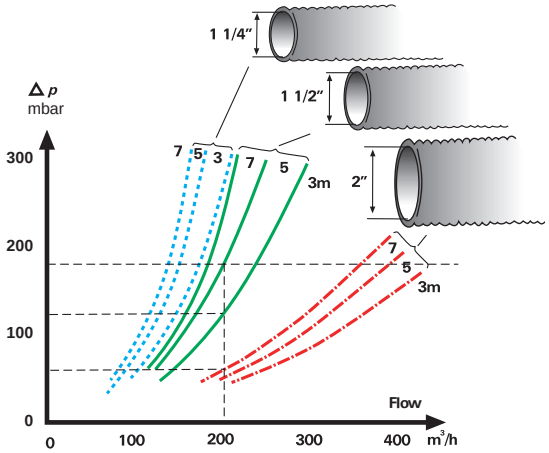


Abb. 3.27 Darstellung des Druckabfalls in Schläuchen verschiedener Durchmesser, abhängig von Länge und Durchfluss.

Den Werker schränkt der Schlauch vor allem ein. Er möchte daher, dass dieser so dünn und elastisch wie möglich sein soll. Eine Alternative ist ein Schlauch mit kleinem Durchmesser nahe am Werkzeug, der, wann immer das möglich ist, gegen einen mit größerem Durchmesser ausgetauscht wird.

Schwenkarm

Bei fest installierten Absaugvorrichtungen sollte der Absaugschlauch an einem Schwenkarm befestigt werden. Das hält den Schlauch vom Boden fern. Es ist beson-

ders darauf zu achten, dass niemand auf den Schlauch tritt, weil ein deformierter Schlauch einen bedeutend höheren Druckabfall erzeugt als ein unverformter.

Werden unterschiedliche Schlauchdurchmesser verwendet, ist es allgemein üblich, den dünneren Schlauch permanent an der Maschine zu befestigen und über einen Anschluss ein einfaches Wechseln der Werkzeuge zu ermöglichen. Nachteilig ist, dass die Schläuche sehr viel Raum im Werkzeugschrank einnehmen.

An vielen Arbeitsplätzen stehen daher spezielle Gestelle, wo die Werkzeuge aufbewahrt werden können. Das erleichtert die Wartung der Absaugelemente, weil direkt erkennbar ist, welches Teil ausgewechselt werden muss.

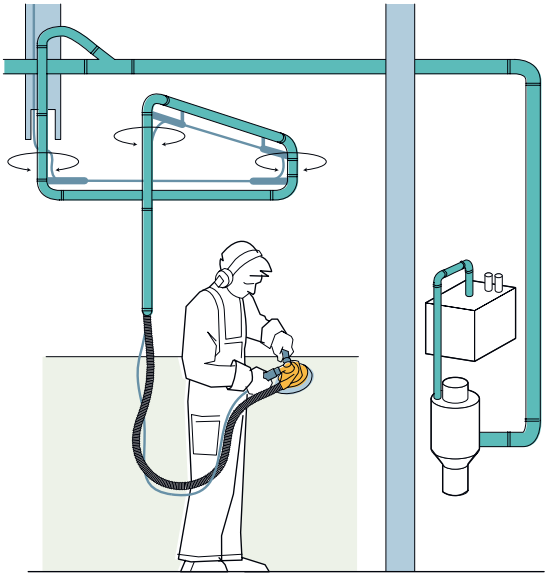


Abb. 3.28 Vakuum-System

Vakuumventil

Staubabsaugsysteme werden häufig mit mehr Absaugstellen konstruiert, als die Vakuumeinheit auf einmal bewältigen kann. Deshalb sollten immer nur die gerade benötigten Absaugstellen an die Hauptsaugleitung angeschlossen sein. Das funktioniert, wenn die Absaugstelle über ein Ventil an die Saugleitung angeschlossen ist, welches erkennt, wann das Werkzeug gestartet wird, und dann automatisch die Verbindung zur Hauptabsaugleitung öffnet.

Installation der Absaugleitung

Für die Dimensionierung einer Absaugleitung gibt es zwei Faustregeln: Eine Mindestgeschwindigkeit von 10 m/s verhindert Staubablagerungen an Krümmungen im System. Maximal zulässig sind etwa 40 m/s. Das erlaubt an jeder abgezweigten Leitung generell drei Absaugstellen. Der geeignete Durchmesser für eine horizontal laufende, dünnwandige Stahlleitung beträgt 100 mm.

Filter und Vakuumeinheit

Die Absaugleitung endet in einer Filtereinheit, meist bestehend aus einem Zyklonabscheider, gefolgt von einem Glasfaserfilter und einer Trommel, worin der Staub gesammelt wird. Der Vakuumerzeuger kann ein mehrstufiger Lüfter, ein Rootsgebläse oder eine andere Pumpenart sein. Jedes System hat bei einem gegebenen Saugstrom einen bestimmten Druckabfall. Die Hersteller geben den für effektive Staubabsaugung erforderlichen Durchsatz an.

Wird eine Vakuumeinheit auf ein Absaugsystem abgestimmt, sind zwei Diagramme in einem anzufertigen: eines für den Unterdruckstrom der Anlage und eines für den Druckabfallstrom des Systems, jeweils aufgetragen über dem Luftdurchsatz. Der Schnittpunkt markiert den Gleichgewichts- oder Arbeitspunkt für das System. Es ist zu prüfen, ob der Durchsatz an dieser Stelle mit dem empfohlenen Durchsatz für den Staubsammler übereinstimmt.

Ölbekämpfung

Vor zwanzig Jahren begannen die Werkzeugkonstrukteure mit der Entwicklung von Lamellenmotoren, die ohne Schmierölzugaben in der Druckluft laufen konnten. Angestoßen wurde diese Entwicklung dadurch, dass das zum Schmieren der Lamellen erforderliche Öl in Aerosolform wieder mit der Abluft ausgestoßen wird. Häufig gelangte es in den Atembereich des Werkers und führte zu Hautreizungen.

Die Entwicklung ging zwei Wege: Einerseits suchte man nach einem wirkungsvolleren Schmiersystem, das die erforderliche Ölmenge reduzieren konnte. Der daraufhin entwickelte Öler trägt den Produktnamen Dosol. Andererseits wollte man ein Lamellenmaterial entwickeln, das ohne Ölschmierung an der Zylinderwand laufen kann. Da sich die Lamellen mit sehr hoher Geschwindigkeit entlang der Zylinderwand bewegen, sind Umfangsgeschwindigkeiten bis zu 30 m/s durchaus üblich. Um hohe Temperaturen und somit Verschleiß zu verhindern, muss der Reibungskoeffizient niedrig gehalten werden.

Nach umfangreichen Forschungen bei Kunden und im Labor wurden 1990 neue Lamellenmaterialien eingeführt, die keiner Schmierung mehr bedürfen. Diese Lamellen aus einem Verbundwerkstoff mit Zusätzen für niedrige Reibwerte stecken in den Motoren druckluftbetriebener Kleinschrauber, Drehschrauber,

Bohrmaschinen und anderer Werkzeuge, die vornehmlich intermittierend arbeiten. Die Leistungswerte stimmen mit denen von ölgeschmierten Luftwerkzeugen überein.

Bis heute konnte aber noch kein Lamellenmaterial gefunden werden, das die konventionellen Lamellen in Werkzeugen mit hohen Lamellengeschwindigkeiten, wie etwa in Schleifern, ersetzen könnte. In der Produktpalette der größten Schleifer bietet Atlas Copco allerdings seit Jahren Turbinenschleifer an. Sie müssen nicht geschmiert werden, was aus ergonomischer Sicht ein großer Schritt nach vorn ist.

Beurteilung von Staub und Öl

Aus der Sicht eines Werkzeugherstellers ist die Beurteilung von Staub und Öl sehr schwierig. Eines ist jedoch klar: Ist das Werkzeug ölfrei, ist der Gewichtungsfaktor für den Vergleich mit anderen Stressoren null. Um Staub und Öl in Aerosolform beurteilen zu können, muss man mehr über Arbeitsplatz, Belüftung und weitere Parameter wissen. Für den Vergleich von Stressoren haben wir Faustregeln, die auf unseren Erfahrungen beruhen und darauf, wie unsere Maschinen eingesetzt werden.

Werkzeugart	Häufig genutzer Arbeitsplatz						Gelegentlicher Arbeitsplatz					
	Staub		Öl				Staub		Öl			
			ungeschmierte Werkzeuge		geschmierte Werkzeuge				ungeschmierte Werkzeuge		geschmierte Werkzeuge	
	Punktabsaugung ja	nein	Führung der Abluft	Direkt-auslass	Führung der Abluft	Direkt-auslass	Punktabsaugung ja	nein	Führung der Abluft	Direkt-auslass	Führung der Abluft	Direkt auslass
Schrupp-/Trennschleifer	8	20	1	1	6	10	4	10	1	1	3	5
Kleinschleifer	4	10	1	1	3	6	2	6	1	1	2	4
Flächenschleifer	6	20	1	1	4	8	3	10	1	1	2	4
Meißelhämmer	4	8	1	1	2	4	2	4	1	1	1	2
Niethämmer			1	1	2	4			1	1	1	2
Alle Bohrmaschinen	2	8	1	1	3	6	1	4	1	1	2	4
Schlag- und Impulsschrauber			1	1	3	6			1	1	2	4
Drehschrauber			1	1	3	6			1	1	2	4
Schrauber			1	1	3	6			1	1	2	4

Tabelle 3.15 Die Punktzahl für die die Belastung durch Staub und Öl zeigt diese Tabelle.

4 BEURTEILUNGS-BEISPIELE

Schleifer
GTG 40 F085

Die für das Werkzeug relevanten Variablen stehen in Tabelle 3.1 (Seite 71). Dieser leistungsstarke Druckluftschleifer (4,5 kW) wird über einen Turbinenmotor angetrieben und ist für männliche Werker konzipiert.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1	120 mm				0
Umfang Starter geöffnet	a2=1	170 mm				0
Länge	niedrige Kraft a4=1	105 mm				0
Endmarkierung	a6=0,5	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5		nein			0,5
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	1

Tabelle 4.1 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Schleifer GTG 40 F085.

ÄUSSERE BELASTUNG

Typische Belastungen für Schleifer zeigt Tabelle 3.9 (Seite 81). Da der GTG 40 ein sehr starker pneumatischer Winkelschleifer ist, liegt die Vorschubkraft am oberen Ende der angegebenen Bandbreite. Für diese Schätzung nehmen wir eine Vorschubkraft von 90 N an. Wie in Kapitel 3 erwähnt, werden 70 % dieser Kraft über den Stützgriff aufgebracht. Die auf die stützende Hand einwirkende Kraft beträgt daher 63 N.

Unter der Annahme, dass die Schleifscheibe mit der Oberfläche in Kontakt ist, kann dann das auf das Handgelenk wirkende Beugemoment zur Elle hin berechnet werden. Es beträgt 90 mm mal 63 N, also 5,7 Nm.

GEWICHT

Je schwerer ein Werkzeug, desto geringere Vorschubkräfte sind beim Schleifen horizontaler Flächen erforderlich. Wir fügen einer Konstruktion aber niemals unnötiges Gewicht zu. Das Beurteilungsdiagramm für die Schleifermasse von 3,8 kg liefert die Punktzahl 15.

TEMPERATUR

Durch die Expansion der Druckluft in der Turbine sinkt die Temperatur der ausgestoßenen Luft. Dadurch kühlt das Maschinengehäuse ab. Der Stützgriff besteht aus Kunststoff, um die Hand des Werkers vor Kälte zu schützen. Der Startergriff ist durch ein Distanzstück aus Kunststoff vom Maschinengehäuse isoliert.

Bei der Beurteilung anhand der im Kapitel „Temperatur“ vorgeschlagenen Methode ergibt sich eine Grifftemperatur von 20 °C und somit die Punktzahl 1.

REAKTIONSMOMENT

Beim Schleifen kann sich ein Reaktionsmoment nur aufbauen, wenn die Schleifscheibe blockiert; der Ruck ist jedoch gering. Daher spielt das Reaktionsmoment bei Schleifmaschinen keine Rolle.

VIBRATIONEN

In der Konstruktionsphase werden die dynamischen Eigenschaften der Maschine

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter Andruck mit	380 N	a1=1	a2=0,6	a3=0,5	114 N	16 N	0,14	1
geradem Arm	600 N				180 N	63 N	0,35	3
Beugung zur Elle hin	15 Nm				5 Nm	5,7 Nm	1,1	26
							Gesamtpunktzahl:	30

Tabelle 4.2 Bewertung der äußeren Belastung des Schleifers GTG 40 F085.

bei Unwucht simuliert, und zwar mit Hilfe einer Schleifscheibe, die eine exakt definierte Unwucht hat.

Dem Rotationskraftvektor der Unwucht begegnet ein automatischer Unwuchtausgleicher. Dieser ist hinter der Schleifscheibe in die Nabe eingebaut. Das verbleibende Kräftepaar, das noch Vibrationen erzeugen könnte, wirkt nicht in derselben Ebene. Das hohe Trägheitsmoment der Schleifscheiben-Schutzhaube, die beim Schleifen arretiert ist, verhindert Vibrationen.

Der Nennwert beträgt < 2,5 m/s^2, daher nutzen wir für die Beurteilung den Wert 2,5 und korrigieren ihn um den Faktor 1,5.

Die geschätzten Prozessvibrationen zusammen mit der durchschnittlichen Nutzungszeit von 3 Stunden – aus Tabelle 3.10 (Seite 82) im Kapitel über Vibrationen – ergeben eine Vibrationsbelastung von:

$$A_{(8)} = (3/8)^{1/2} \cdot 3{,}75 = 2{,}3\ m/s^2$$

Dafür ergibt sich aus dem Beurteilungsdiagramm in Kapitel 3 eine Punktzahl von 18.

LÄRM

Die wichtigste Lärmquelle der Maschine ist der Luftauslass der Turbine. Er erzeugt ein hochfrequentes, breitbandiges Geräusch, wobei keine Frequenz dominiert. Die beste Lösung ist ein Staudruck-Schalldämpfer, der aus einem Hohlraum und einer Verengung im Auslass besteht, die den Druck senkt. Solche Schalldämpfer wirken am besten im oberen Frequenzbereich. Wie im Kapitel über Lärm beschrieben, ergibt sich folgende Beurteilung:

$$L_{eq(8)} = 10 \cdot \lg\,(1/8 \cdot 10^{L/10} \cdot T)$$

Für den GTG 40 mit einem Lärm-Nennwert von 85 dB(A) und einer Betriebsdauer von 3 Stunden ergeben sich 81 dB(A). Nach dem Beurteilungsdiagramm in Kapitel 3 entspricht das einer Punktzahl von 10. Dieser Wert kann beim eigentlichen Schleifvorgang aber erheblich größer sein, als aus dem Beurteilungsdiagramm hervorgeht!

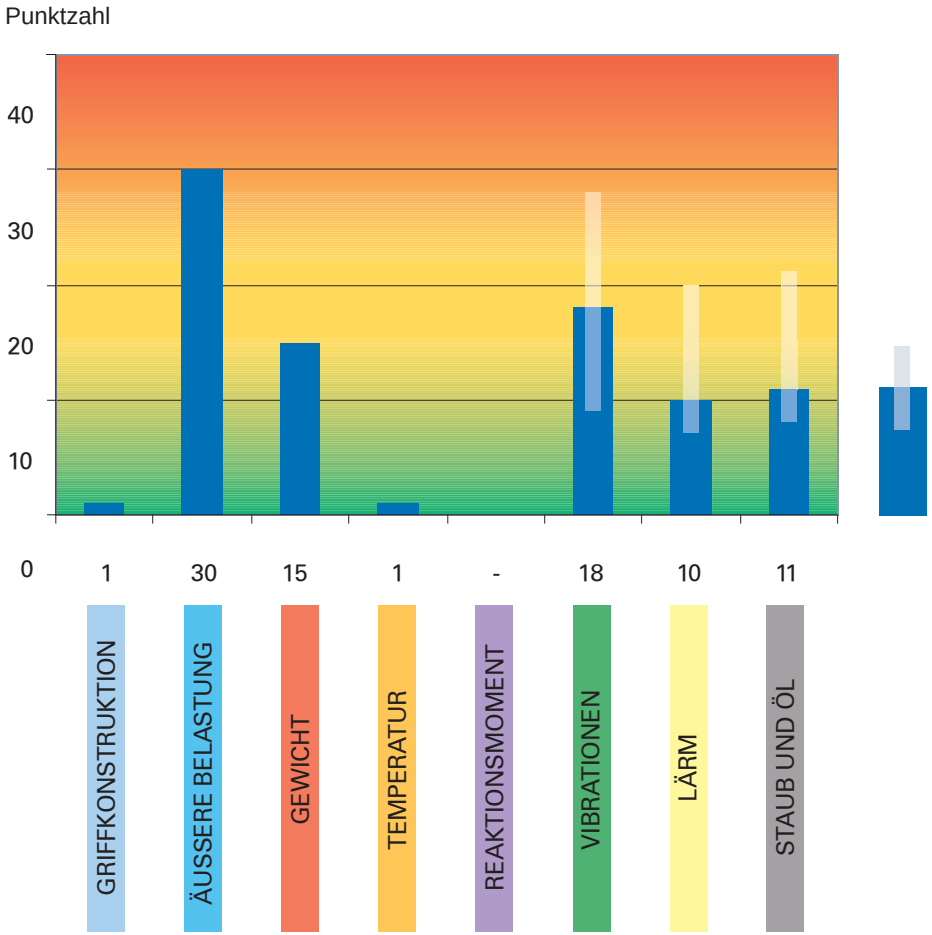
STAUB UND ÖL

Diese Maschine muss nicht geschmiert werden, aber die Abluft wird nicht abgeleitet (Punktzahl 1).

Wie sehr der Werker Staub ausgesetzt ist, hängt ab von den Eigenschaften des Werkstücks, der Gestaltung und Belüftung des Arbeitsplatzes und der Werkshalle allgemein. Da das Werkzeug eine sehr hohe Dauerleistung hat, kann es große Mengen Material abtragen. Dabei entsteht natürlich Staub. Aus Tabelle 3.15 (Seite 132) kann eine Punktzahl

von 10 entnommen werden, vorausgesetzt, die Arbeitsgeschwindigkeit ist gering. Die Gesamtpunktzahl für Staub und Öl liegt dann bei 11.

An dieser Stelle sei vor dem Schleifen von Material gewarnt, das toxische Substanzen enthält. Die einzige Lösung ist dann wohl ein Staubabsaugsystem in Kombination mit einer Schutzmaske. Die Punktzahl für Staub als Ergonomiefaktor kann zwischen 10 und 40 liegen.



Der graue Balken zeigt den Bereich der Unsicherheit an, der auf unbekannte Einflüsse im Arbeitsprozess zurückzuführen ist.

Abb. 4.1 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Schleifer GTG 40 F085 zusammen.

Bohrmaschine
LBB 26 EPX-060

Die für die Bohrmaschine relevanten Variablen gehen aus Tabelle 3.1 (Seite 71) hervor. Da die Leistung der Bohrmaschine im oberen Bereich liegt (500 W), ist die LBB 26 in erster Linie als Werkzeug für Männer konzipiert. Angetrieben wird sie von einem schmierfreien Lamellenmotor.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	hohe Kraft a1=2	130 mm				0
Umfang Starter geöffnet	a3=1	148 mm				0
Länge	hohe Kraft a4=2	105 mm				0
Endmarkierung	a6=0,5	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	0,5

Tabelle 4.3 Beurteilung der Griffkonstruktion für die Bohrmaschine LBB 26 EPX-060.

ÄUSSERE BELASTUNG

Beim Bohren sind die äußeren Belastungen das auftretende Drehmoment und die Vorschubkraft. Das Drehmoment ist von der gewählten Drehzahl abhängig. Wir wählten hier ein Modell mit einem Drehmoment von 1 Nm bei einer Drehzahl von 6000 min^{-1}. Werkzeuge mit höheren Drehzahlen entwickeln ein geringeres Drehmoment. Das Drehmoment wird als Supinationsdrehmoment empfunden. Bei Maschinen mit niedrigeren Drehzahlen nimmt der Werker seine linke Hand zum Abstützen. Der Spannfutter-Schutz fungiert als wirkungsvoller Stützgriff. Mit einer Bohrmaschine bohrt man meist stehend an vertikalen Flächen. Je höher die Vorschubkraft, desto größer ist auch der Bohrfortschritt. Eine typische Vorschubkraft ist 150 N.

GEWICHT

Die Bohrmaschine ist ein typisches Werkzeug zur spanenden Materialbearbeitung, bei dem es keine wiederholintensiven Bewegungen gibt. Die Werkzeugmasse beträgt 0,7 kg und die Punktzahl 3.

TEMPERATUR

Die im Motor expandierende Druckluft ist kalt. Doch wird die volle Leistung des Werkzeugs beim Bohren nur selten genutzt, und der Bohrzyklus ist für gewöhnlich kurz. Die normale Einsatzhäufigkeit liegt irgendwo zwischen einmal in 5 Minuten und sechsmal pro Minute. Als durchschnittliche tägliche Einsatzzeit wird 1 Stunde angenommen, als jeweilige Einsatzdauer 10 Sekunden. Das ergibt 360 Einsätze pro Tag oder 45 pro Stunde. Somit erhält eine durchschnittliche Bohrsequenz den Wert 3600/45 = 80.

Um die Temperatur am Griff zu messen, sollte die Maschine 10 Sekunden lang laufen und 70 Sekunden pausieren und zwar mit 75 % der Leerlaufdrehzahl und 50 % der Leistung. Das entspricht einem normalen Lastwert beim Bohren.

Die gemessene Temperatur ist 17 °C, entsprechend einer Punktzahl von 3.

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	130 N	a1=1	a2=0,7	a3=1	91 N	15 N	0,2	2
Andruck mit geradem Arm	450 N				315 N	150 N	0,5	4
Supination	15 Nm				10 Nm	1 Nm	0,1	1
							Gesamtpunktzahl:	7

Tabelle 4.4 Bewertung der äußeren Belastung der Bohrmaschine LBB 26 EPX-060.

REAKTIONSMOMENT

Ruck und Reaktion ereignen sich innerhalb kürzester Zeit (< 300 ms). So kann der Werker nur wenig tun, um den Ablauf der Ereignisse zu beeinflussen. Einen Ruck gibt es, wenn der Bohrer ein Blech durchdringt.

Der größte Teil der Vorschubkraft wirkt auf die Mitte des Bohrers, damit dieser das Material durchdringen kann. Im Moment des Durchbruchs nimmt die erforderliche Vorschubkraft sehr stark ab. Ein erfahrener Werker hört das rechtzeitig und verringert seinen Andruck entsprechend. Reagiert er nicht, dringt der Bohrer tiefer ein als vorgesehen und kann blockieren. Das Abwürgemoment erhöht sich schlagartig – schneller als 300 ms –, so dass grundsätzlich ein Ruck entsteht.

Das Abwürgemoment für diese Bohrmaschine beträgt 1 Nm. Obwohl das Hand-Arm-System dieses Drehmoment aushält, kann ein geschickter Werker diese Situation vermeiden.

Dazu empfiehlt es sich, bei größeren Lochdurchmessern zunächst mit einem kleineren Bohrer vorzubohren. Die Punktzahl ist 0.

VIBRATIONEN

Die von der Maschine selbst erzeugten Vibrationen sind gering. Während des Bohrvorgangs können sie höher sein, wenn man mit einem verbogenen Bohrer arbeitet. Sowohl für die Lochqualität als auch für die Entstehung von Vibrationen ist der Zustand des Bohrers ein wichtiger Faktor. Der Vibrationsnennwert ist < 2,5 m/s², der Korrekturfaktor für Bohrer beträgt 1,5.

$$A_{(8)} = (1/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}5 = 1{,}3 \text{ m/s}^2$$

Die Punktzahl ist 9.

LÄRM

Die Bohrmaschine hat einen Staudruck-Schalldämpfer im Griff, der schalldämmendes Material enthält. Die ausgestoßene Luft lässt sich vom Werker wegleiten. Der Nennwert ist 80 dB(A). Die Maschine ist eine Stunde am Tag im Einsatz.

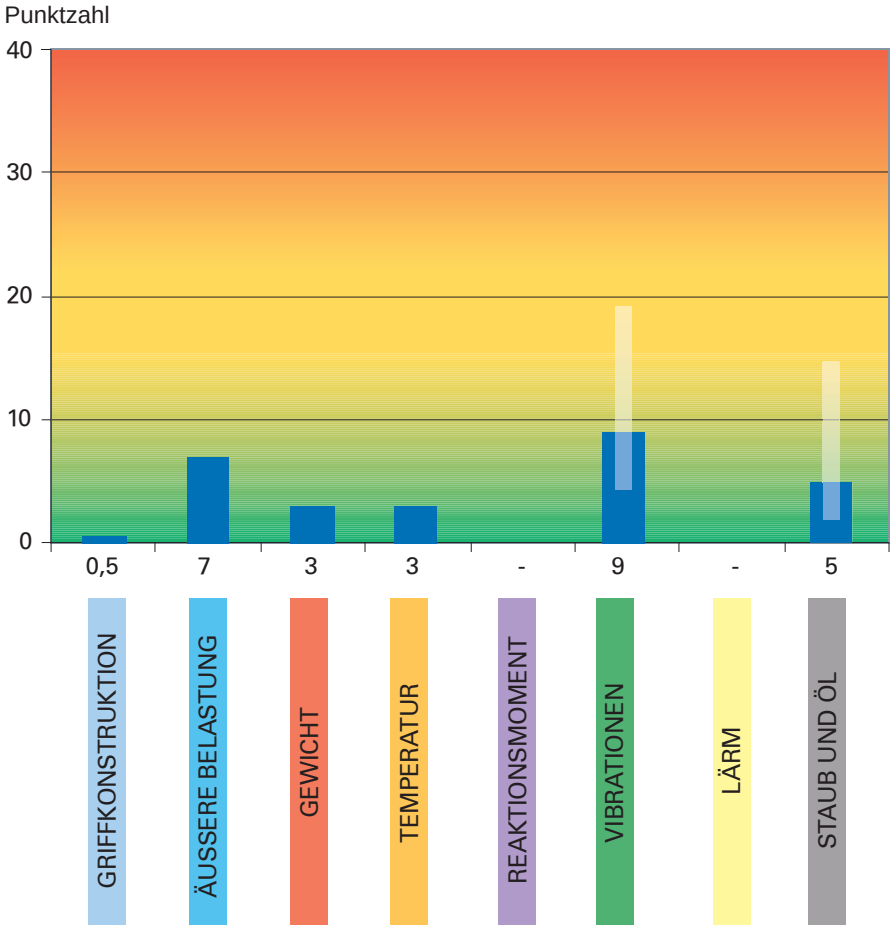
$$L_{eq(8)} = 10 \lg(1/8 \cdot 10^{8{,}0} \cdot 1) = 73 \text{ dB(A)}$$

Die Punktzahl ist 0.

STAUB UND ÖL

Der Motor muss nicht geschmiert werden, und beim Bohren entsteht praktisch kein Staub. Bei manchen Tests wurden die Bohrmaschinen allerdings mit elastischen Staubsammlern versehen, um beim Bohren in Verbundwerkstoffen zu verhindern, dass Kohlefasern in die Luft gelangen. Denn

diese können gefährlich werden, wenn sie in die Elektronik geraten – beispielsweise in einem Flugzeug. Die Punktzahl für die Bewertung von Staub und Öl ist 5.



Der graue Balken zeigt den Bereich der Unsicherheit an, der auf unbekannte Einflüsse im Arbeitsprozess zurückzuführen ist.

Abb. 4.2 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für die Bohrmaschine LBB 26 EPX-060 zusammen.

Meißelhammer
RRF 31

Die für den Meißelhammer relevanten Variablen nennt Tabelle 3.1 (Seite 71). Der RRF 31 ist ein vibrationsgedämpfter Meißelhammer mit einer Schlagenergie von 4,4 J. Er wird in erster Linie von männlichen Werkern zum Putzen von Gussteilen in Gießereien eingesetzt.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1			100		3
Umfang Starter geöffnet	a2=1	140 mm				0
Länge	niedrige Kraft a4=2	100 mm				0
Endmarkierung	a6=0,5	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5		nein			0,5
Haftung und Kühlung	a10=0,5		lackiert			0,5
					Gesamtpunktzahl:	4,5

Tabelle 4.5 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Meißelhammer RRF 31.

ÄUSSERE BELASTUNG

Für die Beurteilung nehmen wir an, dass der Meißelhammer für Putzarbeiten hauptsächlich auf horizontalen Oberflächen eingesetzt wird. Die Höhe des Gussteiles lässt sich leicht verändern, um eine bequeme Position für die nach unten wirkende Andruckkraft einnehmen zu können.

Der Meißelhammer wird von einem Mann bedient. Der Daumenstarter befindet sich an der Rückseite des Griffes und kann mit Daumen oder Daumenballen betätigt werden. Im letzteren Fall ist die Kraft für die Betätigung des Starters ein Teil der Vorschubkraft. Die zum Starten erforderliche Kraft beträgt 15 N.

Die benötigte Mindestvorschubkraft entspricht der Reaktion auf die Kraft, welche bei durchschnittlichem Luftdruck auf den Meißelbund wirkt (andernfalls würde der Meißel aus der Maschine herausfallen).

Der durchschnittliche Luftdruck beträgt etwa 60 % des Einlassdrucks, gewöhnlich 6,3 bar. Die Vorschubkraft beträgt 50 N. Die größte Vorschubkraft (80 N) ist dann aufgebracht, wenn die Feder der Rückstoßdämpfung ganz zusammengedrückt ist. Oder anders herum ausgedrückt: Dieser Meißelhammer arbeitet mit niedrigen Vorschubkräften (< 100 N).

GEWICHT

Die Werkzeugmasse beträgt 2,5 kg. Als materialabtragendes Werkzeug erhält es die Punktzahl 10.

TEMPERATUR

Da die Druckluft den Griff durchströmt, passt sich dessen Temperatur im Ruhezustand der Temperatur der umgebenden (Raum-)Luft an. Die Temperaturmessungen basieren auf einer täglichen Belastung des Werkers von 2 Stunden oder 7200 Sekunden. Somit wird das Werkzeug umgerechnet jede Stunde des Tages 7200/8 = 900 Sekunden lang eingesetzt. Zudem nehmen wir an,

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	100 N	a1=1	a2=0,7	a3=0,8	56 N	15 N	0,27	2,5
Andruck mit geradem Arm	600 N				336 N	80 N	0,24	2
							Gesamtpunktzahl:	4,5

Tabelle 4.6 Bewertung der äußeren Belastung des Meißelhammers RRF 31.

das Werkzeug sei jeweils 10 Sekunden lang in Betrieb, woraus sich eine Sequenz von „10 Sekunden ein, 30 Sekunden aus“ ergibt. Die Maschine wird auf einem Stahlkugel-Absorber getestet. Die Temperatur nach dem Ruhezustand beträgt 18 °C, weshalb der Stressor die Punktzahl 2 bekommt.

REAKTIONSKRÄFTE

Bei der Arbeit mit diesem Werkzeug entstehen keine Reaktionsmomente. Daher müssen Reaktionskräfte für den Meißelhammer nicht berücksichtigt werden.

VIBRATIONEN

Dieses Werkzeug enthält im Griff eine Rückstoßdämpfung: ein Masse-Feder-System mit einer vorgespannten Feder und dem Griff selbst als Masse. Die Feder aktiviert das Isoliersystem ab einer bestimmten Mindestvorschubkraft bis hin zu einer maximalen Vorschubkraft, wenn die Feder ganz komprimiert ist. Eine vorgespannte Feder ist erforderlich, weil die Federkonstante (Faktor k) gering sein muss, damit das System eine niedrige Eigenfrequenz hat. Der Vibrationsnennwert beträgt 3,5 m/s²; der Korrekturfaktor für Meißelhämmer bei Reinigungsaufgaben, ist 2. Unter Annahme einer täglichen Belastungszeit von 2 Stunden ergibt sich:

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 3{,}5 \cdot 2 = 3{,}5 \text{ m/s}^2$$

Das entspricht einer Punktzahl von 31.

LÄRM

Mess- und Nennwert sind 94 dB(A). Der äquivalente Schallpegel für eine kontinuierliche Belastung über 8 Stunden ist:

$$L_{eq(8)} = 10 \lg (1/8 \cdot 10^{9{,}4} \cdot 2) = 88 \text{ dB(A)}$$

Die Punktzahl beträgt somit 28. Dieser Wert berücksichtigt nicht den Prozesslärm während der Arbeit. Dieser kann erheblich größer sein als im Diagramm angesetzt.

Der Arbeitslärmpegel hängt ab von den Eigenschaften des zu putzenden Gussstücks, von der Technik des Werkers und von der Gestaltung des Arbeitsplatzes.

STAUB UND ÖL

Dieses Werkzeug wird häufig in sehr staubiger Umgebung eingesetzt, etwa zum Reinigen von Hohlräumen eines Gussstücks von Sand und Gießrückständen. Eine am Werkzeug angebrachte Staubabsaugvorrichtung behindert die Arbeit. Daher ist eine gut belüftete Putzkabine die beste Lösung. Die Stressor-Gesamtbewertung für Staub reicht von 0 bis 20, abhängig von der Qualität des Absaugsystems.

Meißelhammer müssen geschmiert wer-

den, wobei sehr wenig Öl ausreicht. Die Ölkonzentration in der Atemzone beträgt weniger als 5 mg/m^3.

Aus Tabelle 3.15 ergibt sich als Punktzahl 4 + 2, vorausgesetzt, die Arbeitsgeschwindigkeit ist gering. Die Gesamtpunktzahl für Staub und Öl ist dann 6. Diese Punktzahl gilt aber nur dann, wenn der Arbeitsplatz mit einem durchschnittlichen oder besseren Absaugsystem ausgestattet ist.

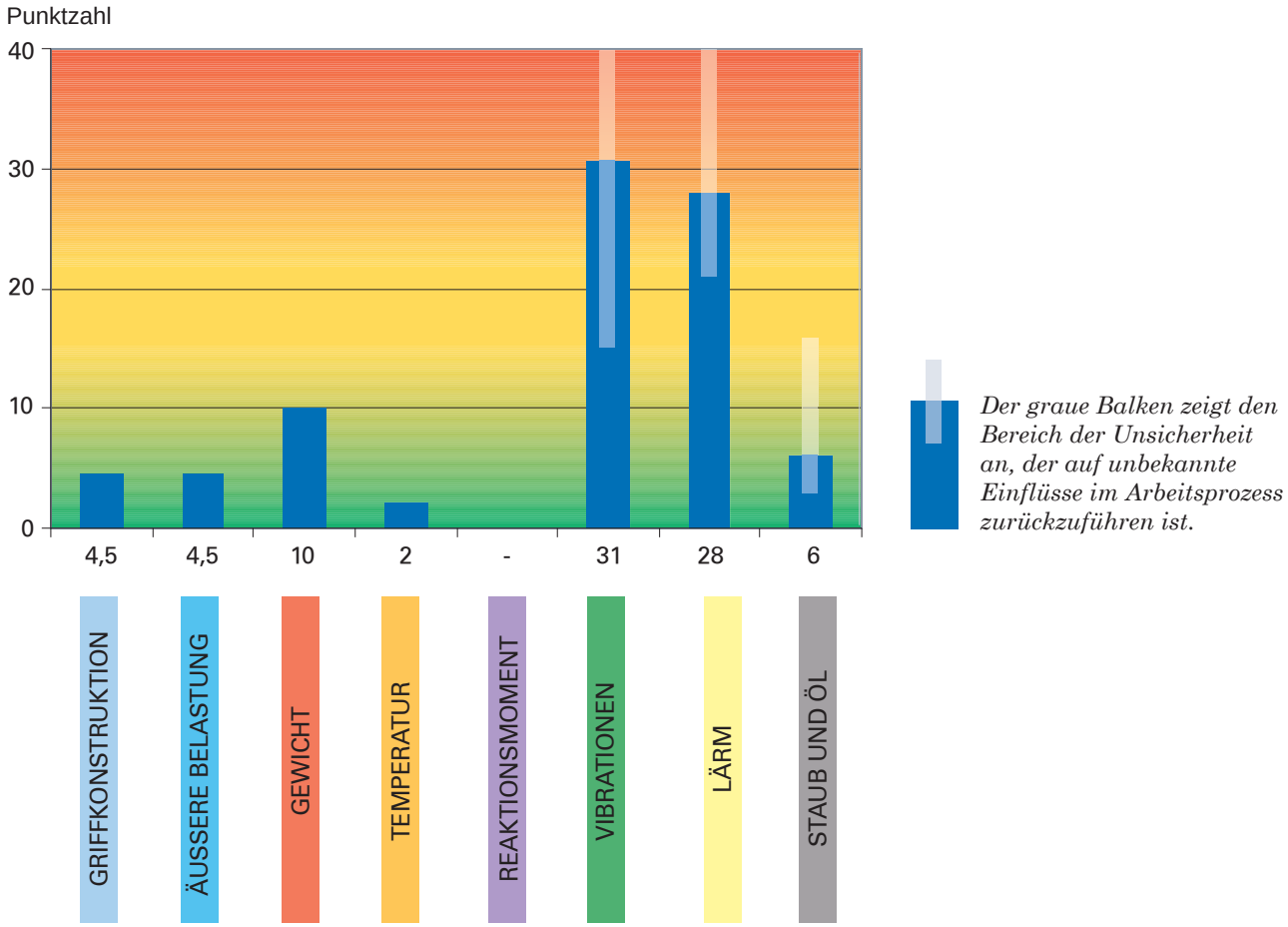


Abb. 4.3 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Meißelhammer RRF 31 zusammen.

Niethammer
RRH 06

Die für den Niethammer relevanten Variablen zeigt Tabelle 3.1 (Seite 71). Dieser Niethammer mit Pistolengriff hat ein aktives Vibrationsdämpfungssystem. Das System passt sich Änderungen der Vorschubkraft an und behält dabei seine gute Vibrationsdämpfung. Normalerweise arbeiten Männer mit diesem Werkzeug.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	hohe Kraft a1=2			150 mm		6
Umfang Starter geöffnet	a3=1			163 mm		3
Länge	hohe Kraft a4=2		95 mm			2
Endmarkierung	a6=0,5		nein			0,5
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	12

Tabelle 4.7 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Niethammer RRH 06.

ÄUSSERE BELASTUNG

Für die Beurteilung nehmen wir an, das Werkzeug werde zum Nieten in der Luftfahrtindustrie eingesetzt, hauptsächlich auf vertikalen Flächen. Die Höhe lässt sich leicht anpassen, um eine bequeme Arbeitsposition beim horizontalen Drücken zu ermöglichen. Der Werker sei männlich. Bei einer Vorschubkraft von 50 N setzt die Vibrationsdämpfung ein; bis die Feder ganz komprimiert, können etwa 220 N aufgebracht werden. So sorgt der Werker für ausreichend Vorschub, damit der Nietkopf nicht aus der Senkung springt und das Blech beschädigt.

Auch der Gegenhalter hat eine eingebaute Vibrationsdämpfung. Beim Nieten wirkt die Feder im Gegenhalter mit einer Kraft von 100 N auf den Nietschaft. Daher muss der Werker eine größere Kraft aufbringen. Ein geübter Werker entwickelt beim Nieten eine durchschnittliche Kraft von 125 N.

Wird das Werkzeug mit hohem Griff gehalten, entsteht im Betrieb kein Drehmoment. Wird der Zeigefinger zum Starten benutzt und das Werkzeug weit unten gehalten, ist eine Beugung der Hand zur Elle hin nötig. Dieses Drehmoment lässt sich schätzen aus dem vertikalen Abstand zwischen der Griffmitte und dem Mittelpunkt des Werkzeuges mal der Andruckkraft. In diesem Fall beträgt der Abstand 70 mm; das Beugemoment berechnet sich wie folgt:

Beugemoment zur Elle hin
= 125 N · 0,07 m = 8,75 Nm

Wird das Werkzeug aus der Parkposition genommen und zum Niet geführt oder zwischen Nieten bewegt, übernimmt die Hand, welche den Starterhebel hält, das ganze Gewicht. Dann muss ein Beugemoment zur Speiche hin aufgebracht werden, das dem horizontalen Abstand zwischen Griffmittelpunkt und Schwerpunkt mal Werkzeugmasse mal Erdbeschleunigung entspricht.

Beugemoment zur Speiche hin
= 0,1 · 1,3 · 9,81 = 1,3 Nm

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	130 N	a1=1	a2=1	a3=1	130 N	16 N	0,12	1
Andruck mit geradem Arm	450 N				450 N	125 N	0,28	2,5
Beugung zur Elle hin	15 Nm				15 Nm	8,75 Nm	0,58	5
Beugung zur Speiche hin	15 Nm				15 Nm	1,3 Nm	0,09	1
							Gesamtpunktzahl:	9,5

Tabelle 4.8 Bewertung der äußeren Belastung des Niethammers RRH 06.

GEWICHT

Die Masse beträgt 1,3 kg, die Punktzahl daher 5.

TEMPERATUR

Der Betriebszyklus für dieses Werkzeug dauert pro Niet unter 2 Sekunden. Die Gesamtbetriebsdauer je Arbeitstag ist weniger als 1 Stunde. Bei diesem Arbeitszyklus bleibt das Werkzeug auf Raumtemperatur. Die Bewertung hat deshalb den Wert 1.

REAKTIONSKRÄFTE

Das Werkzeug erzeugt keine Einzelschläge, sondern Vibrationen. Daher entstehen in diesem Sinne keine Reaktionsmomente.

VIBRATIONEN

Das Werkzeug hat ein aktives Vibrationsdämpfungssystem mit einer Luftfeder und der Masse des Griffes. Der Luftdruck in der Luftfeder steigt mit höherer Vorschubkraft. Somit kann die sehr weiche Feder hohe Vorschubkräfte ohne wesentliche Erhöhung der Steifigkeit übertragen. Das Dämpfungssystem hat daher eine Eigenfrequenz deutlich unter der zu dämpfenden Schlagfrequenz. Der Vibrationsnennwert ist < 2,5 m/s^2 und der Korrekturfaktor beim Nieten 1,5. Die Einsatzzeit ergibt sich aus der Anzahl der pro Tag gesetzten Nieten mal der pro Niet notwendigen Zeit. Der Betriebszyklus für dieses Werkzeug dauert je Niet weniger als 2 Sekunden. Das heißt, dass pro Tag 1800 Nieten gesetzt werden können, bevor die Belastungszeit 1 Stunde übersteigt.

$$A_{(8)} = (1/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}5 = 1{,}3\ m/s^2$$

Die Punktzahl ist daher 9.

Das Werkzeug ist mit einem verstellbaren Handschutz versehen, um den Döpper abzudecken. Der Werker sollte während des Nietens weder Blech noch Döpper berühren, denn letzterer vibriert sehr stark.

LÄRM

Der Schallnennpegel beträgt 91 dB (A).

$$L_{eq(8)} = 10 \cdot \lg (1/8 \cdot 10^{9{,}1} \cdot 1) = 82\ dB(A)$$

Die Punktzahl beträgt somit 12.

Beim Nieten muss unbedingt beachtet werden, dass der Prozesslärm oft wesentlich größer ist als oben angegeben. Das beruht auf der Bewegung des Blechs während des Schlags, wobei das Maß dieser Bewegung der Verformung des Niets entspricht. Das ist beim Nieten nun mal unumgänglich. Es ist zwar möglich, die Fortpflanzung der Blechschwingungen zu dämpfen, doch wird dadurch lediglich eine Lärmquelle

eingedämmt – und das gilt bis heute als unzweckmäßig.

STAUB UND ÖL

Beim Nieten sind Staub und Öl keine Stressoren. Das Werkzeug benötigt eine kleine Ölmenge in der Druckluft, wodurch die Punktzahl 2 vergeben wird.

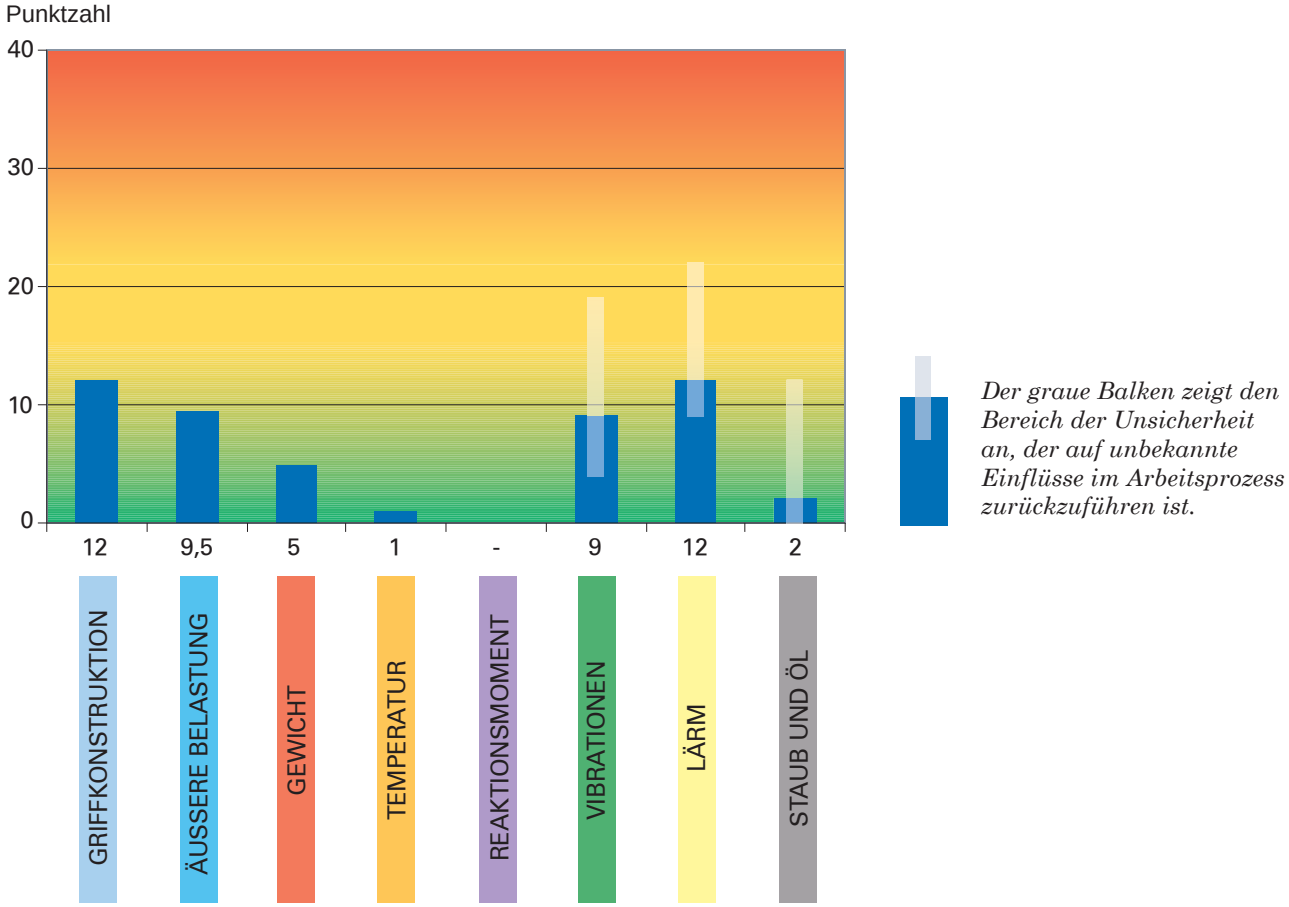


Abb. 4.4 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Niethammer RRH 06 zusammen.

Kleinschrauber
LUM 22 PR4

Die für diesen Drehschrauber relevanten Variablen stehen in Tabelle 3.1 (Seite 71). Der LUM 22 PR4 ist ein Stabschrauber mit einem Drehmomentbereich von 0,5 bis 4,0 Nm. Er hat einen Schubstarter und wird oft von Frauen benutzt. Diese Beurteilung basiert daher auf den Kriterien für weibliche Werker.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1	110 mm				0
Umfang Starter geöffnet	a3=1	110 mm				0
Länge	niedrige Kraft a4=1					0
Endmarkierung	a6=0,5	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	0,5

Tabelle 4.9 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Abschaltschrauber LUM 22 PR4.

ÄUSSERE BELASTUNG

Für die Beurteilung gehen wir davon aus, dass der Stabschrauber von einer Frau in sitzender Position benutzt wird. Das Werkzeug hängt an einem Balancer. Das Anziehmoment an diesem Arbeitsplatz beträgt 3 Nm und wird als Beugung zum Handrücken hin empfunden. Die Griffoberfläche bietet viel Reibung, so dass die Greifkraft nicht den Drehmomentbereich beschränkt. In den meisten Fällen wird nur eine geringe Andruckkraft benötigt, außerdem ist die Starterkraft vernachlässigbar. Das Werkzeug hat einen Schubstarter.

GEWICHT

Drehschrauber werden meist für häufig sich wiederholende Tätigkeiten eingesetzt. Deshalb ist die dynamische Bewegung der Werkzeugmasse wichtig. Die Masse des Werkzeugs beträgt 0,7 kg, was einer Punktzahl von 6 entspricht.

TEMPERATUR

Selbst bei wiederholungsintensiven Arbeiten sind Wärme oder Kälte bei diesen Werkzeugen kein Problem. Ein normaler Anziehvorgang dauert 2 Sekunden. In der Regel wird das Werkzeug an einem achtstündigen Arbeitstag 2 Stunden eingesetzt, ein Zyklus dauert 8 Sekunden. Läuft das Werkzeug an einer Testverbindung mit 4,5 Nm (Bereich 0,5 bis 4,5 Nm) und einer Sequenz von „6 Sekunden Pause, 2 Sekunden schrauben“, beträgt die Temperatur am Griff 17 °C, was einem Bewertungsfaktor von 3 entspricht.

REAKTIONSMOMENT

Das Reaktionsmoment hängt ab von der Stärke des Impulses, der beim Anziehvorgang auf die Maschine wirkt. Da das Werkzeug eine schnelle Kupplung besitzt, wird der Impuls hauptsächlich bestimmt durch die Härte der Schraubverbindung, das Drehmoment und die Leistung des Motors sowie die Massenträgheit der Maschine. Der Impuls dieses Stabschraubers beträgt 2,0 Ns, gemessen nach ISO 6544 bei 3 Nm. Das ergibt einen Bewertungsfaktor von 4.

VIBRATIONEN

Der Vibrationsnennwert ist < 2,5 m/s². Die

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren			reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	Tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
		Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer				
Beugung zum Handrücken hin	10 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	4 Nm	3 Nm	0,8	7
							Gesamtpunktzahl:	7

Tabelle 4.10 Bewertung der äußeren Belastung des Abschaltschraubers LUM 22 PR4.

Vibrationsbelastung durch diese Werkzeuge ist gering und wird daher normalerweise nicht als Risiko angesehen. Daher können Sie den Vibrationsnennwert ohne Korrekturfaktor verwenden.

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 = 1{,}3 \text{ m/s}^2$$

Das ergibt eine Stressorbewertung von 9. In der Praxis hängt der Vibrationswert ab von der Schraube, der Schraubklinge und davon, wie geradlinig Schrauber, Schraubklinge und Schraube beim Anziehen ausgerichtet sind.

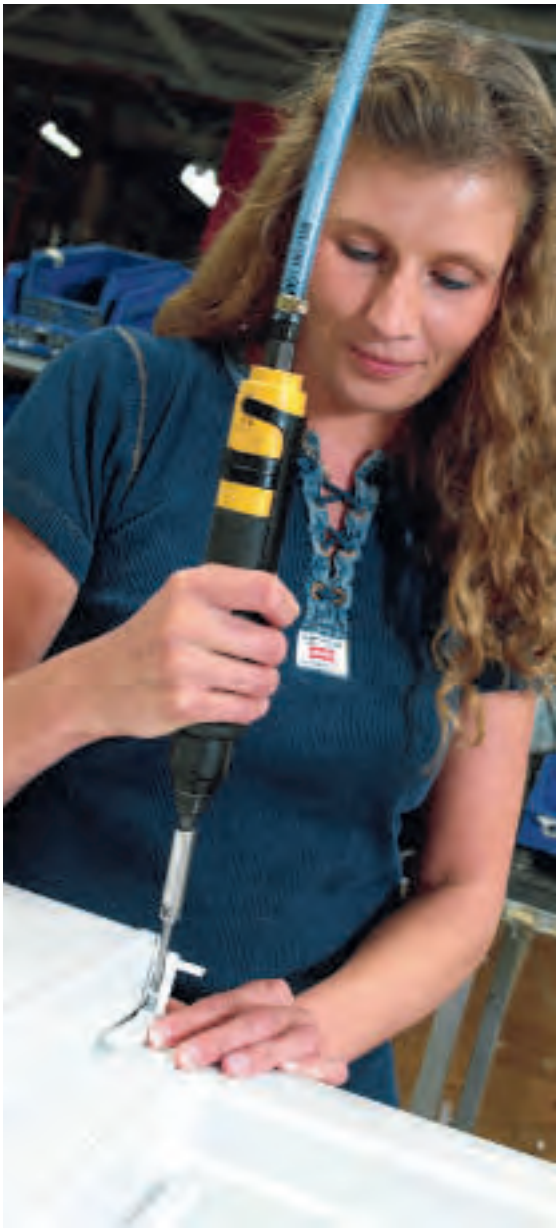
LÄRM

Der Schallnennpegel beträgt 73 dB (A), das ergibt eine Punktzahl von 0. Unter Gesundheitsaspekten scheint dieser niedrige Wert befriedigend. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass mit dem Schrauber häufig im Sitzen montiert wird. Dabei kann der Abstand zwischen dem Ohr des Werkers und dem Werkzeug so klein sein, dass der Belastungswert den Nennwert übersteigt.

STAUB UND ÖL

Die Maschine braucht nicht geschmiert zu werden, und beim Schrauben entsteht kein Staub, also 1 Punkt.

Die Abluft der Maschine wird vom Werker weggeleitet. In der Regel wird



das von den Werkerinnen begrüßt, zumal frühere Modelle ölgeschmiert waren und sich der Ölnebel in den Haaren festsetzte. Der immer noch verwendete Abluftschlauch behindert die Arbeit nicht und senkt den Lärmpegel.

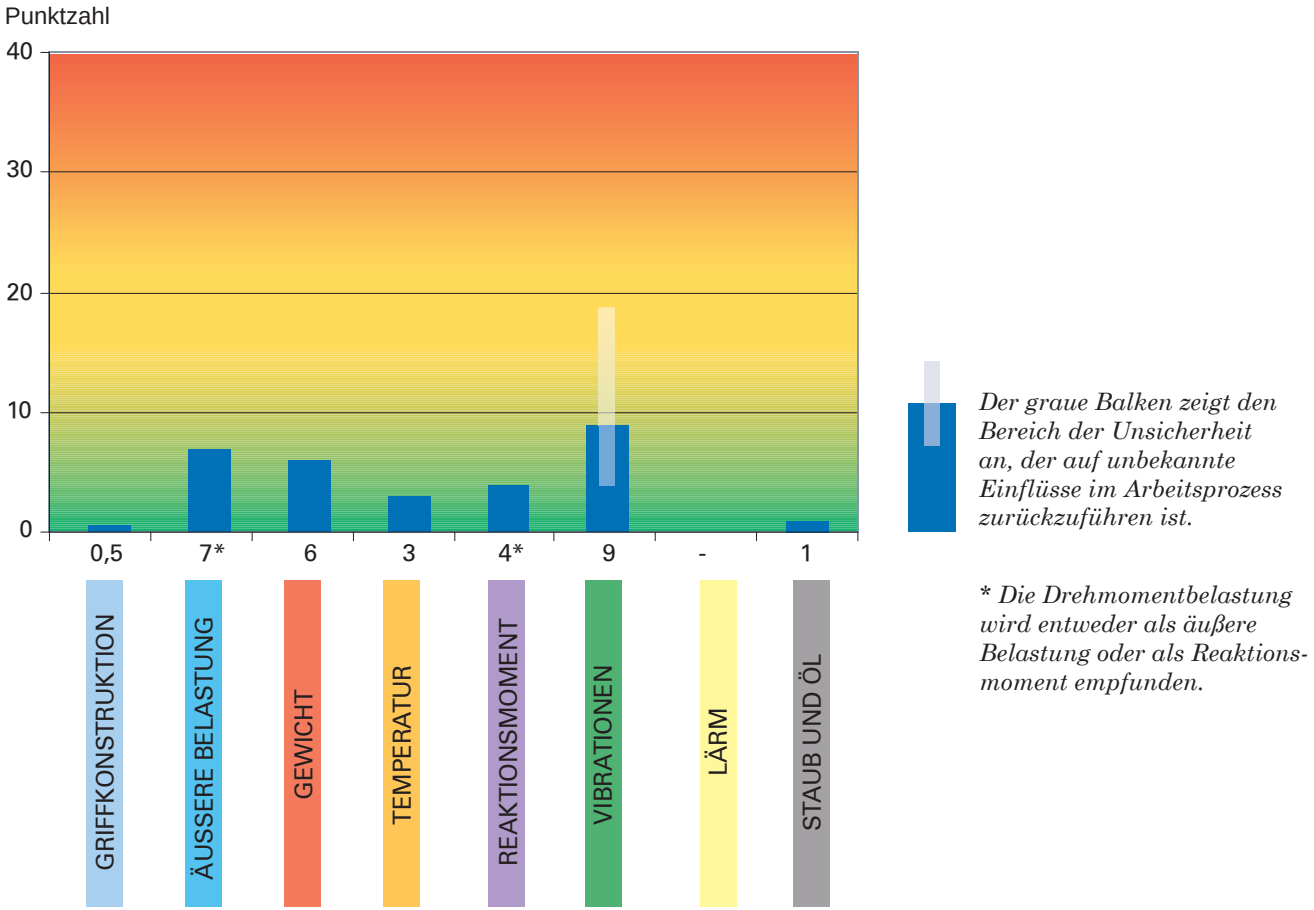


Abb. 4.5 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Abschaltschrauber LUM 22 PR4 zusammen.

Impulsschrauber
EP9 PTX80-HR13

Die für diesen Impulsschrauber mit Pistolengriff relevanten Variablen finden sich in Tabelle 3.1 (Seite 71). Diese Serie eignet sich für Anziehdrehmomente von 2 bis 350 Nm. Wenngleich es viele verschiedene Modelle gibt, haben doch alle eines gemeinsam: Sie übertragen den Impuls über ein Ölpolster auf die Verbindung.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1		138 mm			1
Umfang Starter geöffnet			155 mm			1
Länge	niedrige Kraft a3=1		90 mm			1
Endmarkierung	a5=1	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	3,5

Tabelle 4.11 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Impulsschrauber EP9 PTX80-HR13.

ÄUSSERE BELASTUNG

Der Impulsschrauber ist ein typisches Montagewerkzeug für die Fließfertigung. Es kann hohe Drehmomente anziehen, ohne dass eine Momentenstütze nötig wäre. Die Beurteilung basiert auf einem Arbeitsplatz, bei dem ein Mann das Werkzeug für horizontale Schrauben in Brusthöhe verwendet.

Der Impulsschrauber mit Pistolengriff kann für 50 bis 80 Nm eingesetzt werden und benötigt nur eine geringe Vorschubkraft. Die Drehmomentbelastung durch den Motor lässt sich schätzen, indem das maximale Drehmoment des Werkzeugs durch 40 geteilt wird. Der Impulsschrauber ist über den Griff gut ausbalanciert, so dass das vom Gewicht verursachte Drehmoment vernachlässigt werden kann.

GEWICHT

Der Impulsschrauber ist ein typisches Werkzeug für eine Montagelinie und besitzt eine Masse von 1,6 kg. Die Punktzahl ist 13.

TEMPERATUR

Ein normaler Schraubzyklus dauert 2 Sekunden. An einem achtstündigen Arbeitstag beträgt der durchschnittliche Werkzeugeinsatz 2 Stunden, bei einer Zyklusdauer von 8 Sekunden. Die Temperatur am Griff, die bei maximaler Kapazität an einer weichen Verbindung mit einer Bremsvorrichtung gemessen wurde, betrug 13 °C. Die entsprechende Bewertung: 7 Punkte.

REAKTIONSMOMENT

Bei Impulswerkzeugen wirkt kein Reaktionsmoment auf die Hand.

VIBRATIONEN

Der Vibrationsnennwert ist < 2,5 m/s^2. Der empfohlene Korrekturfaktor für Impulswerkzeuge ist 1,5.

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 \cdot 1{,}5 = 1{,}9 \text{ m/s}^2$$

Das entspricht einer Punktzahl von 14. Nehmen wir an, dass eine typische Belas-

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	80 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	31 N	16 N	0,5	4
Supination	15 Nm				6 Nm	2 Nm	0,3	3
							Gesamtpunktzahl:	7

Tabelle 4.12 Bewertung der äußeren Belastung des Impulsschraubers ErgoPuls EP9 PTX80-HR13.

tungszeit bei 2 Stunden pro Tag liegt. Der Vibrationswert für Impuls- und Schlagwerkzeuge hängt direkt davon ab, wie genau die Maschine mit der Verbindung fluchtet. Trifft über den Steckschlüssel ein Schlag auf die Verbindung, wirkt ein Kräftepaar auf die Verbindung, das in einem Drehmoment resultiert. Stimmen die Mittelachsen von Schrauber und Verbindung nicht überein, sind diese Kräfte nicht synchronisiert. Es kommt dann beim Anziehen zu einer Bewegung, die versucht, beide Mittelachsen zur Deckung zu bringen. Dadurch entstehen Vibrationen.

Wegen der Reibung in der hydraulischen Pulszelle hat die Maschine beim Voranzug ein niedriges Drehmoment, so dass sie gut mit der Verbindung fluchtet. Es muss auch beachtet werden, dass die Vibrationen im Steckschlüssel selbst viel stärker sind als in der Maschine. Es ist daher unbedingt nötig, den Werker anzuweisen, während des Anziehvorgangs niemals den Steckschlüssel festzuhalten.

LÄRM

Der Schallnennpegel beträgt 83 dB(A).

$$L_{eq(8)} = 10 \cdot \lg [1/8 \cdot 10^{8,3} \cdot 2] = 77 \text{ dB(A)}$$

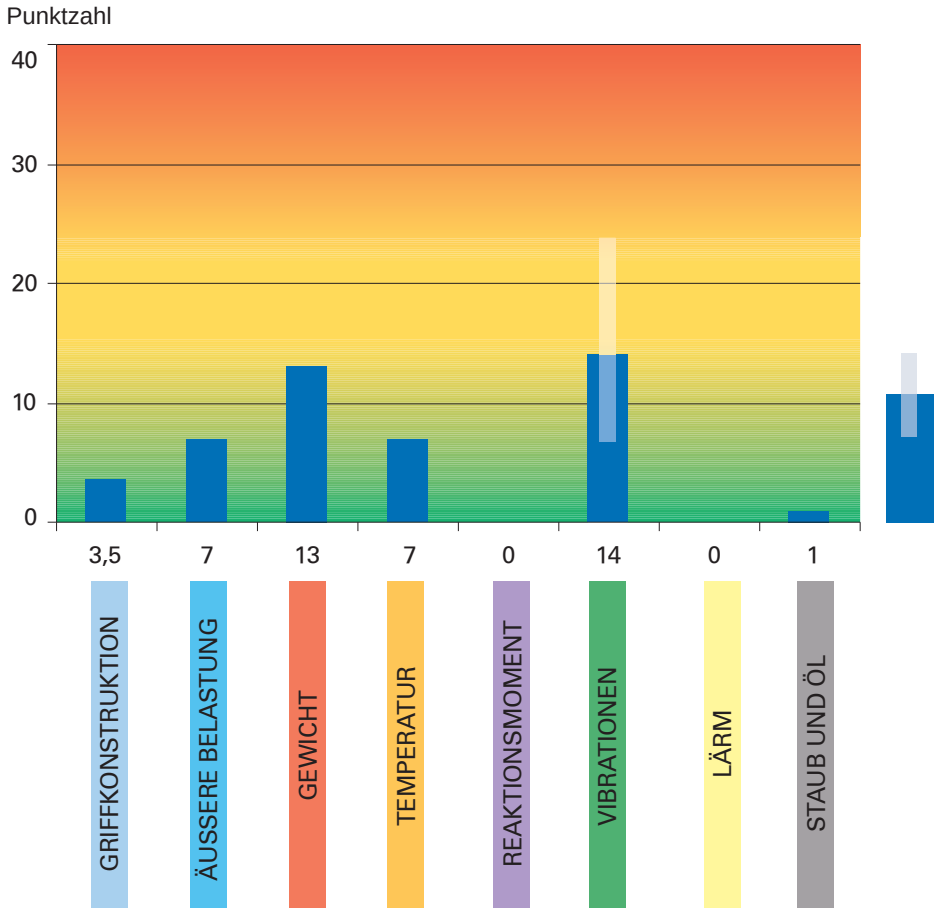
Das entspricht einer Punktzahl von 0.

Im laufenden Schraubprozess kann die Lärmentwicklung größer sein. Sie hängt vor allem ab von den Eigenschaften der Verbin-

dung und der sie umgebenden Konstruktion. Das Ölpolster in der Pulszelle wirkt wie ein Tiefpassfilter. Da sich keine hohen Frequenzen der Pulse auf die Verbindung übertragen, werden auch in der Konstruktion kaum hohe Frequenzen angeregt. Das bedeutet wiederum weniger Lärm beim Schraubprozess.

STAUB UND ÖL

Das Werkzeug muss nicht geschmiert werden, und während des Schraubens entsteht kein Staub. Punktzahl: 1.



Der graue Balken zeigt den Bereich der Unsicherheit an, der auf unbekannte Einflüsse im Arbeitsprozess zurückzuführen ist.

Abb. 4.6 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Impulsschrauber EP9 PTX80-HR13 zusammen.

Elektroschrauber
ETP ST32-05-10

Die für Elektroschrauber relevanten Variablen enthält Tabelle 3.1 (Seite 71). Der ETP ST31-05-10 wird von einem Mikroprozessor gesteuert. Alle Parameter für den Schraubprozess, die sich auf verschiedene Verbindungen und Werker beziehen, können über eine Mess- und Steuerelektronik eingespeist werden. Die Maschine eignet sich für Frauen und Männer.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1	118 mm				0
Umfang Starter geöffnet		130 mm				0
Länge	niedrige Kraft a3=1	100 mm				0
Endmarkierung	a5=1	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5		nein			0,5
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	1

Tabelle 4.13 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Elektroschrauber ETP ST32-05-10.

ÄUSSERE BELASTUNG

Dieser Elektroschrauber wird typischerweise in Montagelinien der Auto- und der Weiße-Ware-Industrie sowohl von Männern als auch Frauen eingesetzt. Die Tätigkeiten sind wiederholungsintensiv und werden mit hoher Geschwindigkeit ausgeführt.

Die Beurteilung dieses Werkzeuges basiert auf einem Arbeitsplatz, an dem stehend montiert wird. Dieser lässt sich für komfortables Arbeiten leicht in der Höhe anpassen. Die Beurteilung wird separat für Männer und Frauen durchgeführt. Wir nehmen an, die Drehmomenteinstellung liege bei 4 Nm und es handele sich um einen weichen Schraubfall. Also muss der Werker das Reaktionsmoment ausgleichen.

Der Drehmomentbereich dieses Werkzeugs reicht von 1 bis 5 Nm. Für weiche Verbindungen bei wiederholungsintensiven Montagevorgängen empfehlen wir eine maximale Drehmomenteinstellung von 5 Nm für Männer beziehungsweise 4 Nm für Frauen.

Der ganze Drehmomentbereich des Werkzeugs kann jedoch sicher genutzt werden, wenn das Werkzeug einen Stützgriff hat oder mit einer Momentenstütze ausgestattet ist. Für harte Verbindungen kann die Steuerung so programmiert werden, dass der Impuls minimiert wird und der Werker nie das volle Reaktionsmoment abfangen muss. Bei harten Verbindungen dieser Art kann ein höheres Drehmoment akzeptiert werden, bevor eine Momentenstütze erforderlich ist. Die tatsächliche Belastung kann wie folgt berechnet werden:

Männer

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	80 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	31 N	9 N	0,3	3
Supination	15 Nm				6 Nm	4 Nm	0,7	6
							Gesamtpunktzahl:	9

Frauen

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	50 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	19 N	9 N	0,5	4
Supination	10 Nm				4 Nm	4 Nm	1	20
							Gesamtpunktzahl:	24

Tabelle 4.14 Bewertung der äußeren Belastung für den Elektroschrauber ETP ST32-05-10.

- Die Starterkraft wurde zu 9 N gemessen.
- An weichen Verbindungen verursacht das Nenndrehmoment ein gleich großes Reaktionsmoment (Supination), in diesem Fall 4 Nm.
- Der Werkzeuggriff ist so konstruiert, dass er die Beugung des Handgelenks zur Speiche hin reduziert, welche durch den Abstand zwischen Griff und Schwerpunkt verursacht wird.

GEWICHT

Der Elektroschrauber ist ein typisches Montagewerkzeug und hat eine Masse von 0,8 kg. Daher ist die Punktzahl 6.

TEMPERATUR

Ein normaler Schraubzyklus dauert 2 Sekunden. An einem achtstündigen Arbeitstag wird das Werkzeug durchschnittlich während 2 Stunden eingesetzt; dabei dauert ein Zyklus 8 Sekunden. Die Temperatur am Griff, gemessen in einer Bremsvorrichtung bei maximaler Werkzeugkapazität an einer weichen Verbindung, war 27 °C, was 2 Punkten entspricht.

REAKTIONSMOMENT

Elektrowerkzeuge eröffnen neue Dimensionen im Kampf gegen die Übertragung plötzlich auftretender Reaktionsmomente auf das Hand-Arm-System. Ein Mikroprozessor überwacht und kontrolliert den Schraubzyklus. Seine Fähigkeiten werden bei der Beurteilung des Tensor ST61 beschrieben. Das System bietet sehr große Flexibilität im Bezug auf die individuellen Parameter, so dass der Werker die günstigsten Einstellungen wählen kann.

VIBRATIONEN

Wenn die Steckschlüssel von guter Qualität sind und das Werkzeug so gehalten wird, dass es mit der Verbindung fluchtet, ist ein niedriger Vibrationswert garantiert. Der Nennwert beträgt < 2,5 m/s^2. Wenn wir dieselbe tägliche Einsatzdauer wie bei Impulsschraubern zugrunde legen (2 Stunden), beträgt die 8-Stunden-Belastung

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 = 1{,}3 \text{ m/s}^2$$

Zudem empfehlen wir in diesem Fall, den Wert 2,5 (für die Vibrationen im Prozess) ohne Korrektur zu verwenden. Die Punktzahl ist daher 6.

LÄRM

Der Schallnennpegel ist < 70 dB (A), Prozessgeräusche treten nicht auf. Dies entspricht einer Punktzahl von 0.

STAUB UND ÖL

Das Werkzeug muss nicht geschmiert werden, und während des Prozesses wird kein Staub erzeugt. Punktzahl: 1.

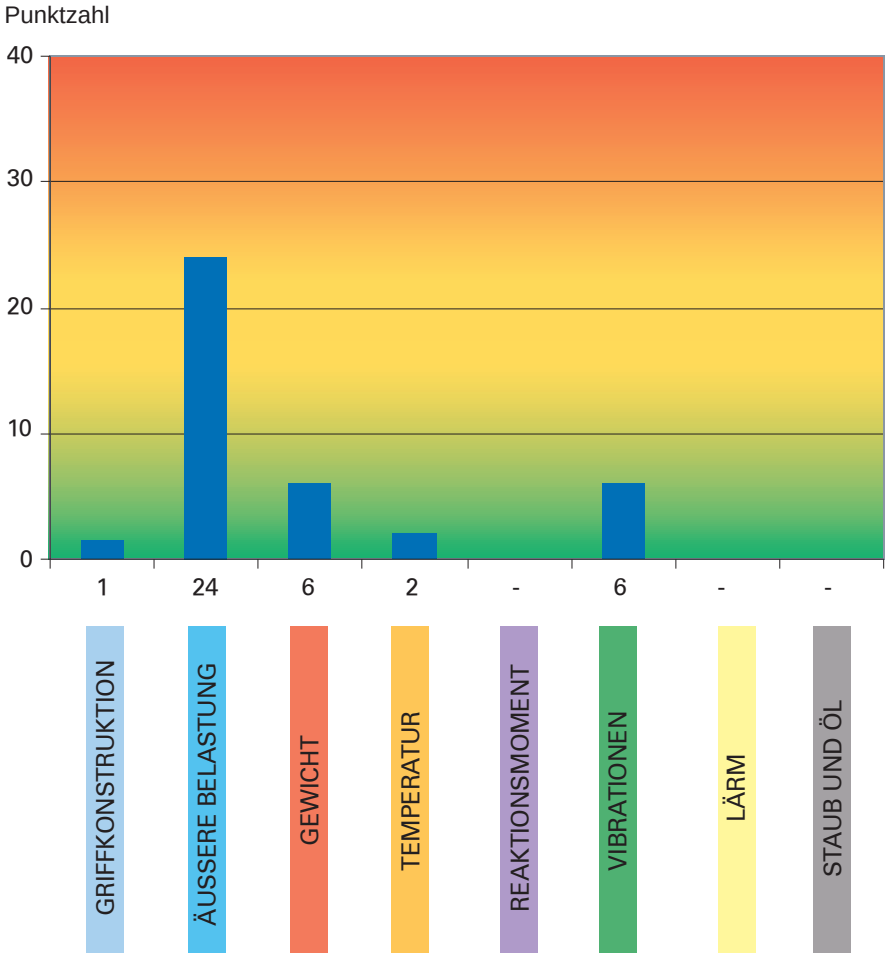


Abb. 4.7 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Elektroschrauber ETP ST32-05-10 bei einer Werkerin zusammen.

Winkelschrauber
LTV 29 R30-10

Die für diesen Schrauber relevanten Variablen finden Sie in Tabelle 3.1 (Seite 71). Der LTV 29 R30-10 ist ein Druckluft-Winkelschrauber für Drehmomente von 14 bis 28 Nm. Er hat eine sehr schnelle mechanische Kupplung, so dass die Belastung durch Reaktionsmomente sehr niedrig ist. Das Werkzeug eignet sich für Frauen und Männer. Die Beurteilung der Griffkonstruktion beruht auf den Kriterien für einen Mann.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1	130 mm				0
Umfang Starter geöffnet		170 mm				0
Länge	niedrige Kraft a3=1	100 mm				0
Endmarkierung	a5=1	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	0,5

Tabelle 4.15 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Winkelschrauber LTV 29 R30-10.

ÄUSSERE BELASTUNG

Für die Beurteilung nehmen wir an, der Winkelschrauber werde an einer Montagelinie in der Autoindustrie eingesetzt, und zwar auf horizontalen Oberflächen. Das Nenndrehmoment sei 28 Nm. Die Höhe lässt sich für eine bequeme Arbeitshaltung anpassen, um der horizontalen Zugkraft des Reaktionsmomentes entgegenzuwirken. Das Werkzeug hat keinen Gewichtsausgleicher. Beim In-die-Hand-Nehmen wird das Handgelenk zur Speiche hin gebeugt. Der Schrauber wird nur mit einer Hand geführt. Daher wird beim Anziehen das Handgelenk zur Handinnenfläche hin gebeugt. Wenn das Werkzeug auf dem Schraubenkopf platziert wird, muss der Werker ein Supinationsdrehmoment aufbringen, um das Werkzeug zu halten, während es auf der Schraube positioniert wird.

Den Arbeitsplatz nutzen Männer und Frauen. Daher werden zwei Beurteilungen der äußeren Belastung durchgeführt.

Die tatsächlichen Belastungen lassen sich wie folgt berechnen:

- Mit angeschlossenem Lufteinlass ergab eine Messung der Starterbetätigungskraft 4 N.

Männer

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	380 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	148N	4 N	0,03	0
Zugkraft zurück	400 N				154 N	104 N	0,7	6
Beugung zur Handinnenfläche	15 Nm				6 Nm	3,1 Nm	0,5	4
Beugung zur Speiche	15 Nm				6 Nm	1,4 Nm	0,2	2
Supination	15 Nm				6 Nm	1,4 Nm	0,2	2

Gesamtpunktzahl: 14

Frauen

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	245 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	92N	4 N	0,04	0
Zugkraft zurück	300 N				131 N	104 N	0,9	14
Beugung zur Handinnenfläche	10 Nm				4 Nm	3,1 Nm	0,8	7
Beugung zur Speiche	10 Nm				4 Nm	1,4 Nm	0,4	4
Supination	10 Nm				4 Nm	1,4 Nm	0,4	4

Gesamtpunktzahl: 29

Tabelle 4.16 Bewertung der äußeren Belastung des Winkelschraubers LTV 29 R30-10 sowohl für männliche als auch weibliche Bediener.

- An weichen Verbindungen belastet das Nenndrehmoment den Werker mit einem Reaktionsmoment (Zugkraft), das dem Nenndrehmoment geteilt durch den Abstand der Spindel zum Griffmittelpunkt entspricht. In diesem Fall: 28/0,270 N = 104 N.
- Während des Anziehvorgangs entspricht das Beugemoment zur Handinnenfläche hin der Zugkraft (104 N) mal der Höhe des Winkelkopfes über dem Schraubenkopf. In diesem Fall: 104 N • 0,03 m = 3,1 Nm.
- Das Supinationsmoment, welches beim Aufsetzen des Werkzeugs auftritt, entspricht dem Abstand zwischen Griffmitte und Schwerpunkt mal der Masse mal der Erdbeschleunigung. In diesem Fall: 0,1 m • 1,45 kg • 9,81 m/s^2 = 1,4 Nm.
- Beim Entnehmen des Werkzeugs aus der Parkposition lässt sich das auf das Handgelenk wirkende Beugemoment zur Speiche hin genau wie das Supinationsdrehmoment berechnen.

GEWICHT

Der Winkelschrauber ist ein typisches Montagewerkzeug und hat eine Masse von 1,4 kg. Die Punktzahl beträgt somit 11.

TEMPERATUR

Ein normaler Schraubzyklus dauert 2 Sekunden. An einem achtstündigen Arbeitstag beträgt der durchschnittliche Werkzeugeinsatz normalerweise 2 Stunden, woraus sich eine Zyklusdauer von 8 Sekunden ergibt. Die Temperatur am Griff, die in einer Bremsvorrichtung bei maximaler Werkzeugkapazität gemessen wurde, betrug 15 °C. Das ergibt also 4 Punkte.

REAKTIONSMOMENT

Das von einem Winkelschrauber ausgehende Reaktionsmoment hängt in hohem Maße von der Art des Schraubfalls ab, ob es sich also um eine harte oder weiche Verbindung handelt. Wichtig ist ferner die Haltung des Werkers: Bildet sein Hand-Arm-System mit der Bewegung des Griffes eine gerade Linie oder einen rechten Winkel? All diese Faktoren beeinflussen den Impuls beim Anziehen, der versucht, das Werkzeug zu drehen.

Zur Beurteilung setzen wir den Impuls ein, der gemäß ISO 6544 bei einer Drehmomenteinstellung von 28 Nm gemessen wird. Er beträgt 2,0 Ns, was eine Punktzahl von 2 ergibt. Diese wird jedoch nicht in der Beurteilung berücksichtigt, da sie auf einer weichen Verbindung beruht und das Reaktionsmoment als äußere Belastung des Werkers betrachtet wird.

VIBRATIONEN

Bei Testmessungen lag der Vibrationswert von Winkelschraubern immer unter 2,5 m/s^2. Und da der Hersteller laut Maschinenrichtlinie nicht verpflichtet ist, den genauen Wert anzugeben, wenn er unter

2,5 m/s² liegt, hat der Normenausschuss beschlossen, keine Vibrationstestbedingungen für Winkelschrauber aufzustellen. Aber: Der Hersteller muss wirklich sicher sein, dass der Vibrationswert unter 2,5 m/s² liegt. Um die Vibrationen während des Betriebs zu schätzen, empfehlen wir auch hier, keinen Korrekturfaktor zu verwenden.

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 = 1{,}3 \text{ m/s}^2$$

Die Punktzahl beträgt daher 9.

LÄRM

Der Schallnennpegel beträgt 77 dB (A).

$$L_{eq(8)} = 10 \lg (1/8 \cdot 10^{7{,}7} \cdot 2) = 71 \text{ dB(A)}$$

Somit beträgt die Punktzahl 0.

STAUB UND ÖL

Das Werkzeug muss nicht geschmiert werden, und während des Schraubprozesses wird kein Staub erzeugt. Punktzahl: 1.

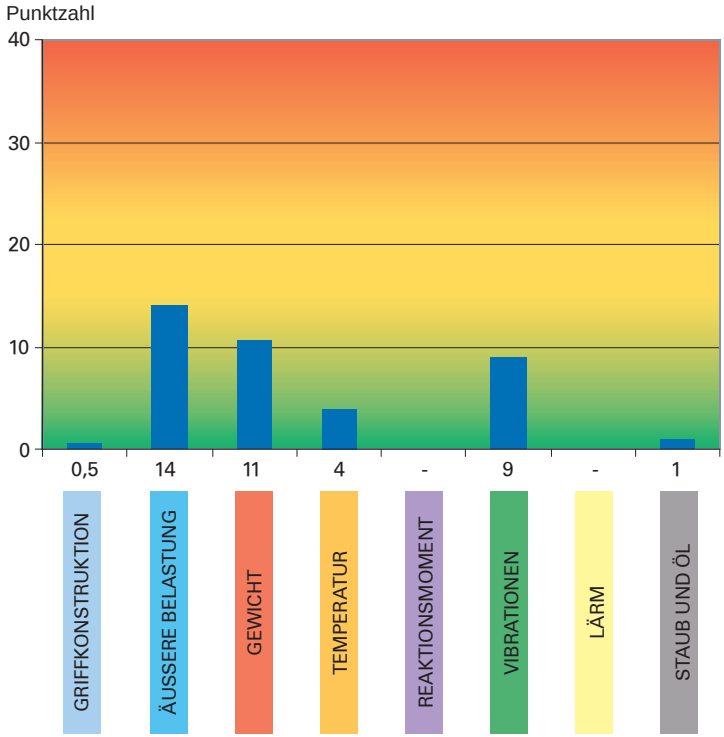


Abb. 4.8 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Winkelschrauber LTV 29 R30-10 für einen Werker zusammen.

Elektro-Winkelschrauber
Tensor ST61-50-10

Die für diesen Winkelschrauber relevanten Variablen enthält Tabelle 3.1 (Seite 71).

Der Tensor ST61-50-10 ist ein Elektro-Winkelschrauber für Drehmomente von 10 bis 55 Nm. Er wird von einem Mikroprozessor gesteuert und überwacht. Alle Parameter, die für verschiedene Schraubfälle und Werker nötig sind, können programmiert werden. Das Werkzeug eignet sich für Frauen und Männer.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1	115 mm				0
Umfang Starter geöffnet		120 mm				0
Länge	niedrige Kraft a3=1		95 mm			1
Endmarkierung	a5=1	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5		nein			0,5
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	2

Tabelle 4.17 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Elektro-Winkelschrauber Tensor ST61-50-10.

ÄUSSERE BELASTUNG

Für die Beurteilung gehen wir von einem Einsatz des Werkzeugs an einer Montagelinie der Autoindustrie auf horizontalen Flächen aus. Die Höhe wird so angepasst, dass sich eine komfortable Arbeitsposition ergibt, um der horizontalen Zugkraft des Reaktionsmomentes entgegenzuwirken. Das Werkzeug wird für eine weiche Verbindung mit 50 Nm eingesetzt und mit beiden Händen geführt. Es ist mit einem Gewichtsausgleicher versehen. Dieser sei richtig eingestellt, so dass die Kraft zum Herunterziehen vernachlässigt werden kann.

Außerdem wird angenommen, dass sowohl Männer als auch Frauen die Station nutzen. Daher werden zwei Beurteilungen der äußeren Belastung durchgeführt. Da der Winkelschrauber zweihändig geführt wird, tritt kein Beugemoment des Handgelenks zur Handinnenfläche auf. Dank der Aufhängung in einem Balancer können auch Supination und Beugung zur Speiche hin vernachlässigt werden.

Die Belastungen lassen sich wie folgt berechnen:

- Eine Messung der Starterkraft ergab 3 N. Der Starter kann sowohl mit einem als auch mit zwei Fingern betätigt werden.
- An weichen Verbindungen belastet das Nenndrehmoment den Werker mit einer Rückzugskraft, welche dem Nenndrehmoment geteilt durch den Abstand der Spindel zum Griffmittelpunkt entspricht. In diesem Fall: 50/0,370 N = 135 N.

Männer

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	80 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	31 N	3 N	0,1	1
Zugkraft	400 N				154 N	135 N	0,9	14
							Gesamtpunktzahl:	15

Frauen

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	50 N	a1=0,8	a2=0,6	a3=0,8	19 N	3 N	0,2	2
Zugkraft	300 N				115 N	135 N	1,2	33
							Gesamtpunktzahl:	35

Tabelle 4.18 Bewertung der äußeren Belastung des Elektro-Winkelschraubers Tensor ST61-50-10. Sie wird für Männer und Frauen angegeben.

GEWICHT

Dieser Elektroschrauber ist ein typisches Montagewerkzeug und besitzt eine Masse von 1,5 kg. Punktzahl: 12.

TEMPERATUR

Ein normaler Schraubzyklus dauert 2 Sekunden. An einem achtstündigen Arbeitstag beträgt der durchschnittliche Werkzeugeinsatz normalerweise 2 Stunden, woraus sich eine Zyklusdauer von 8 Sekunden ergibt. Die Temperatur am Griff, die an einer weichen Verbindung bei maximaler Drehmomenteinstellung gemessen wurde, betrug 40 °C. Daher mit 13 Punkten bewertet.

REAKTIONSMOMENT

Das Elektrowerkzeug bietet zwei Optionen hinsichtlich des Reaktionsmoments. Welche zu wählen ist, bestimmt der Schraubfall. Bei einer harten Verbindung kann die Power-Focus-Mess-und-Steuerelektronik so programmiert werden, dass die Schraubzeit möglichst kurz ist. Der auf die Hand wirkende Impuls ist in diesem Fall schwach, so dass die Momentbelastung sehr gering ist. Eine mittelharte Verbindung kann in zwei Schritten angezogen werden, wobei die Verbindung im ersten Schritt mit einem Moment vorangezogen wird, das unter dem endgültigen Drehmoment liegt. Das Voranzugsmoment kann so berechnet werden, dass der resultierende Impuls akzeptabel ist. Der Endanzug erfolgt dann bei niedriger Drehzahl, die sich allmählich zum voreingestellten Endmoment hin erhöht und danach wieder auf Null verringert. Da der Endanzug länger als 300 ms dauert, wird sein Reaktionsmoment nicht als Stoß betrachtet. Bei sehr weichen Verbindungen kann das Anziehen in einem einzigen Schritt bei gleichmäßigem Drehzahlanstieg und -abfall erfolgen.

Die Parameter lassen sich danach einstellen, wie der Werker den Schraubvorgang subjektiv als am angenehmsten empfindet. Die Elektronik der Power-Focus-Steuerung erlaubt individuelle Programmierungen für verschiedene Werker. Zu Beginn der Schicht braucht der Werker dann nur seinen persönlichen Code einzugeben.

Bei einer harten Verbindung mit einer Voreinstellung von 50 Nm beträgt der Impuls 4 Ns, entsprechend einer Punktzahl von 4.

VIBRATIONEN

Der Vibrationsnennwert liegt unter 2,5 m/s^2. Bei einer Belastungsdauer von 2 Stunden pro Tag und unter Verwendung derselben Betrachtung wie für den LTV-Winkelschrauber, ergibt sich damit

$$A_{(8)} = (2/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 = 1{,}3\ m/s^2$$

Die Punktzahl darum 9.

LÄRM

Der Schallnennpegel liegt unter 70 dB (A), die Punktzahl somit 0.

STAUB UND ÖL

Das Werkzeug muss nicht geschmiert werden und erzeugt keinen Staub. Punktzahl: 0.

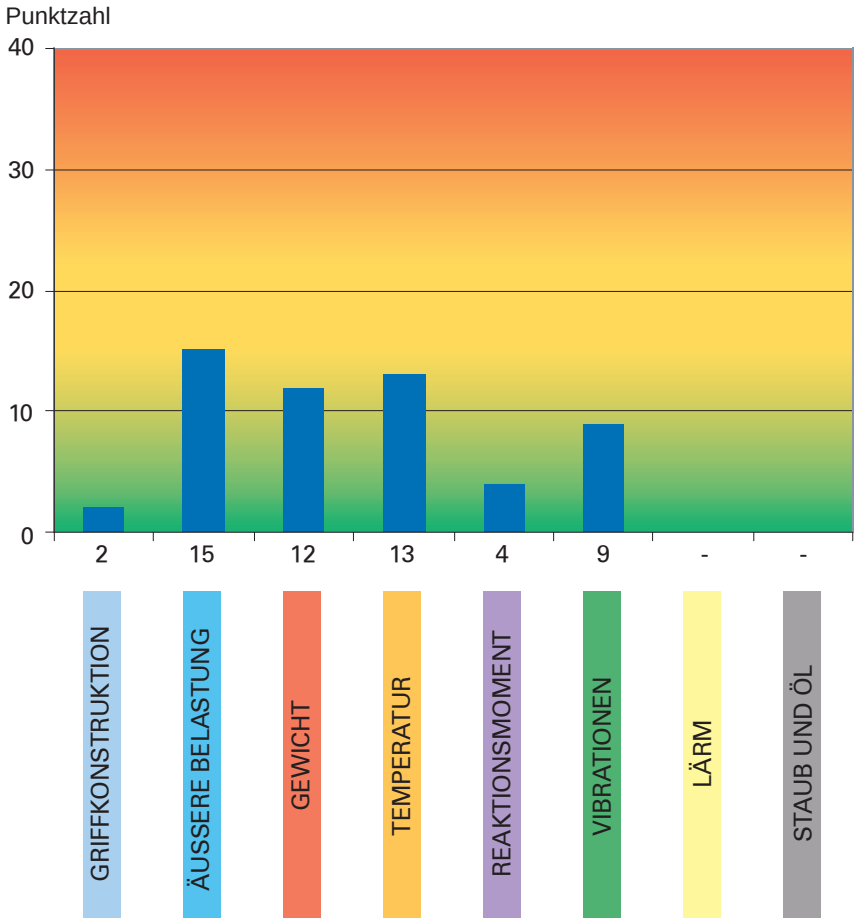


Abb. 4.9 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Elektro-Winkelschrauber Tensor ST61-50-10 zusammen, bedient von einem männlichen Werker.

Hochmomentschrauber
LTP 51

Die für diesen (Druckluft-)Hochmomentschrauber relevanten Variablen zeigt Tabelle 3.1 (Seite 71). Er arbeitet mit Drehmomenten zwischen 130 und 1000 Nm.

Der Schrauber wird immer mit einer Momentenstütze eingesetzt, und zwar meist von Männern, beispielsweise in der Lkw-Montage.

GRIFFKONSTRUKTION

Variable	Gewichtungs-faktor (a)	bevorzugt (0)	akzeptabel (1)	zulässig (3)	zu vermeiden (5)	Punktzahl
Umfang Starter betätigt	niedrige Kraft a1=1			152 mm		3
Umfang Starter geöffnet				165 mm		3
Länge	niedrige Kraft a3=1	105 mm				0
Endmarkierung	a5=1	glatt				0
Einstellbarkeit	a7=0,5		nein			0,5
Stützfläche	a8=0,5	ja				0
Viskoelastischer Überzug	a9=0,5	ja				0
Haftung und Kühlung	a10=0,5	gut				0
					Gesamtpunktzahl:	6,5

Tabelle 4.19 Beurteilung der Griffkonstruktion für den Hochmomentschrauber LTP 51.

ÄUSSERE BELASTUNG

Bei diesem Schrauber ist die äußere Belastung gering. Weder wird eine Vorschubkraft benötigt, noch wirkt auf das Handgelenk ein Drehmoment. Weil es sich um ein Abwürgewerkzeug für hohe Drehmomente handelt, das stets in Verbindung mit einer Momentenstütze eingesetzt wird, entsteht durch den Prozess keine äußere Belastung.

GEWICHT

Der entscheidende Faktor ist das Gewicht. Ein Werkzeug für Drehmomente bis 1000 Nm kann nicht leicht sein. Die Beurteilung dieses Schraubers hinsichtlich seines Gewichts ist eine schwierige Aufgabe. Er kann mit verschiedenen Getrieben für unterschiedliche Drehmomente ausgerüstet werden, weshalb die Masse zwischen 2,9 und 5,6 kg liegen kann.

Da der Schrauber niemals für langandauernde Schraubprozesse eingesetzt wird, beträgt die Punktzahl 10 bis 20. Nur die leichtesten Modelle werden beim Schrauben mit der Hand geführt. Die Mehrzahl hängt an Gewichtsausgleichern. Darum schreiben wir dem Werkzeug die Punktzahl 12 zu.

TEMPERATUR

In einer normalen Arbeitssituation gleichen die kalte Luft vom Lamellenmotor und die vom Getriebe abgegebene Wärme einander recht wirkungsvoll aus. Die Temperatur des Werkzeugs liegt daher etwa bei Raumtemperatur, entsprechend einer Punktzahl von 1.

REAKTIONSMOMENT

Durch die Verwendung einer Momentenstütze wird sichergestellt, dass keine Belastung durch Reaktionsmomente auftritt. Punktzahl 0.

VIBRATIONEN

Der Vibrationsnennwert ist < 2,5 m/s². Die Gesamteinsatzdauer pro Tag ist 1 Stunde.

$$A_{(8)} = (1/8)^{1/2} \cdot 2{,}5 = 0{,}9 \text{ m/s}^2$$

Das ergibt eine Punktzahl von 6.

Kraft/Moment	MWK N/Nm	Sicherheitsfaktoren Geschwindigkeit	Frequenz	Dauer	reduzierte MWK	tatsächliche Last N/Nm	tatsächlich/ reduziert	Punktzahl
Starter	80 N	a1=1	a2=1	a3=1	80N	24 N	0,3	3
							Gesamtpunktzahl: 3	

Tabelle 4.20 Bewertung der äußeren Belastung des Hochmomentschraubers LTP 51.

LÄRM

Der Schallnennpegel beträgt 79 dB(A). Die Belastung pro Tag liegt bei 1 Stunde.

$$L_{eq(8)} = 10 \lg (1/8 \cdot 10^{7,9} \cdot 1) = 70 \text{ dB(A)}$$

Das entspricht also 0 Punkten.

STAUB UND ÖL

Weder das Werkzeug noch der Prozess erzeugen Staub. Das Werkzeug benötigt Öl zur Schmierung. Es ist allerdings sehr unwahrscheinlich, dass der Werker im Atembereich einer Belastung durch schwebende Öltröpfchen von mehr als 5 mg/m^3 ausgesetzt wird. Die Punktzahl beträgt daher 4, entsprechend Tabelle 3.15 auf Seite 132.

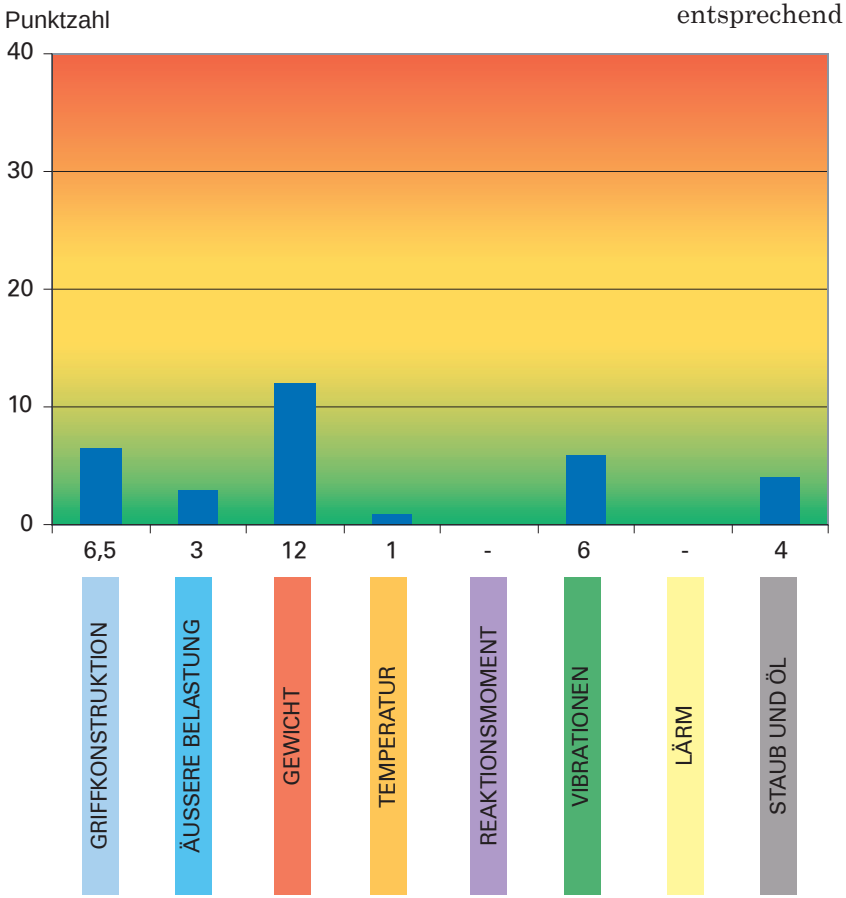


Abb. 4.10 Das Balkendiagramm fasst die Ergebnisse der Beurteilung für den Hochmomentschrauber LTP 51 zusammen.

Welches handgeführte Kraftwerkzeug Sie für eine Aufgabe auswählen, wirkt sich nicht nur auf den Prozess aus, sondern auch auf die Arbeitssituation des Werkers und sein gesamtes Arbeitsumfeld. Miteinander kombiniert, haben diese Faktoren großen Einfluss auf die Gesundheit, Sicherheit und Produktivität des Mitarbeiters.

Aufbauend auf mehr als 50 Jahren Forschung, Tests und Erfahrung, untersucht dieses Buch die Beziehung zwischen diesen Faktoren.

Wir sind Ihrer Produktivität verpflichtet.

Atlas Copco

www.atlascopco.com

9833 1162 04 2008:1